

Vergelijking van SMART2SUMO en STONE in relatie tot de modellering van de effecten van landgebruiksverandering op de nutriëntbeschikbaarheid

J. Kros
P. Groenendijk
J.P. Mol-Dijkstra
H.P. Oosterom
G.W.W. Wamelink

r a p p o r t e n



wot
Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Vergelijking van SMART2SUMO en STONE in relatie tot de modellering van de effecten van landgebruikverandering op de nutriëntenbeschikbaarheid

De inhoudelijke kwaliteit van dit rapport is beoordeeld door Kor Zwart, Alterra.
Het rapport is geaccepteerd door Jaap Wiertz en Dirk-Jan van der Hoek (Milieu- en Natuurplanbureau), opdrachtgevers namens de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.

De reeks 'Wot-rapporten' bevat onderzoeksresultaten van uitvoerende organisaties die voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu opdrachten hebben uitgevoerd.

Wot-rapport 13 is het resultaat van een onderzoeksopdracht van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) en de WOT Natuur & Milieu aan Alterra. Dit rapport draagt bij aan de kennis die verwerkt wordt in meer beleidsgerichte publicaties van het MNP, zoals de Natuurbalans, (thematische) verkenningen en quick scans. Het rapport is gemaakt in opdracht van MNP; het is geen MNP-product.

Vergelijking van SMART2SUMO en STONE in relatie tot de modellering van de effecten van landgebruikverandering op de nutriëntenbeschikbaarheid

J. Kros

P. Groenendijk

J.P. Mol-Dijkstra

H.P. Oosterom

G.W.W. Wamelink

Rapport 13

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2005

Referaat

Kros, J., P. Groenendijk, J.P. Mol-Dijkstra, H.P. Oosterom, G.W.W. Wamelink, 2005. *Vergelijking van SMART2SUMO en STONE in relatie tot de modellering van de effecten van landgebruikverandering op de nutriëntenbeschikbaarheid*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 13. 48 blz. 9 fig.; 4 tab.; 30 ref.

Bij de omvorming van landbouw naar natuur is het de vraag welke natuur op de vaak lang bewerkte en overbemeste grond zich zal gaan ontwikkelen en welke beheersmaatregelen de overheid kan treffen om deze natuur een kans te geven. Bij de daarop gerichte scenario-studies wordt voor de voorspelling van de milieukwaliteit gebruik gemaakt van de modellen STONE en SMART2SUMO. STONE is ontwikkeld om op landelijke schaal de uit- en afspoeling van stikstof (N) en fosfor (P) vanuit de landbouw naar grond- en oppervlaktewater te voorspellen, terwijl SMART2SUMO is ontwikkeld om de terrestrische milieukwaliteit (nutriëntenconcentraties en pH in de wortellaag) te voorspellen in bestaande natuur. Om de prestaties van STONE en SMART2SUMO voor de N- en P-modellering voor biodiversiteitsscenario's te vergelijken, de consistentie te verhogen en waar mogelijk al te verbeteren, zijn beide modellen met elkaar vergeleken.

Trefwoorden: Landgebruikverandering, modellering, stikstof, fosfaat, natuurontwikkeling

Abstract

Kros, J., P. Groenendijk, J.P. Mol-Dijkstra, H.P. Oosterom, G.W.W. Wamelink, 2005. *Modelling the effects of land-use change on nutrient availability: a comparison between the SMART2SUMO and STONE models*. Wageningen, Statutory Research tasks Unit for Nature and the Environment. WOt-rapport 13. 48 p. 9 fig.; 4 tab.; 30 ref.

In the current process of transforming Dutch farmlands into nature areas, it is important to be able to predict what types of vegetation will develop on soils that have usually been tilled and overfertilised for long periods. In addition, it is important to identify management measures that could promote natural developments on such lands. Scenario studies for land-use change try to predict environmental quality using the STONE and SMART2SUMO models. STONE has been developed to predict nitrogen (N) and phosphorus (P) drainage from agricultural land to groundwater and surface waters, while SMART2SUMO has been developed to predict terrestrial environmental quality (in terms of nutrient concentrations and pH values in the root zone) in existing nature areas. These two models were compared to assess their performance for N and P modelling in the context of biodiversity scenario studies, as well as to improve their consistency.

Key words: Land-use change, modelling, nitrogen, phosphate, habitat development

ISSN 1871-028X

©2005 **Alterra**

Postbus 47, 6700 AA Wageningen.

Tel: (0317) 47 47 00; fax: (0317) 41 90 00; e-mail: info.alterra@wur.nl

De reeks 'Rapporten' is een uitgave van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen UR. Dit rapport is verkrijgbaar bij het secretariaat. Het rapport is ook te downloaden via www.wotnatuurenmilieu.wur.nl.

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 47 78 44; Fax: (0317) 42 49 88; e-mail: info.wnm@wur.nl; Internet: www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
Summary	13
1 Inleiding	15
2 Vergelijking van modelconcepten	17
2.1 Achtergrond STONE	17
2.2 Achtergrond SMART2SUMO	19
2.3 Verschillen en overeenkomsten	20
2.3.1 Beschrijving N- en P-processen	22
2.3.2 Schematisering in relatie tot landgebruikverandering	29
2.3.3 Modeluitgangen	30
3 Proefberekeningen met SMART2SUMO en STONE-ANIMO voor het veenweidegebied	31
3.1 Modeltoepassing	31
3.2 Resultaten	34
4 Discussie	39
4.1 Mogelijkheden en beperkingen op grond van de procesbeschrijvingen	39
4.2 Discussie over de simulatieresultaten	40
5 Conclusies en aanbevelingen voor aanpassingen	43
5.1 Conclusies	43
5.2 Aanbevelingen	43
Literatuur	45

Woord vooraf

De druk op de Nederlandse natuur is hoog en nieuwe natuur, die zich ontwikkelt op uit productie genomen landbouwgrond, vormt een welkome aanvulling op de schaarse voorraad. Het is echter de vraag welke natuur op deze vaak lang bewerkte en overbemeste grond zich zal gaan ontwikkelen en welke beheersmaatregelen de overheid kan treffen om deze natuur een kans te geven.

Het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) maakt voor het beantwoorden van soortgelijke vragen gebruik van de Natuurplanner. Voor het beantwoorden van de specifieke vraag, die zich voordoet bij de ontwikkeling van natuur op met fosfaat verrijkte grond, moest de Natuurplanner worden aangepast. Het betrof hierbij de bodemmodule SMART2 en de biomassamodule SUMO. Beide modules zijn uitgebreid met rekenregels, die de fosfaathuishouding beschrijven, waarbij onder andere gebruik wordt gemaakt van de door STONE berekende initiële fosfaatvoorraad in de bodem. Het STONE model wordt gebruikt bij de voorspelling van de gevolgen van mestbeleid op de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar grond- en oppervlaktewater. Bij de ontwikkeling van STONE lag de nadruk op de uitspoeling uit landbouwgrond, doch voor de voorspelling van de nationale emissies naar de Noordzee wordt ook natuur meegenomen. SMART2SUMO en STONE hebben dus een gedeeltelijke overlap, wat te verklaren is uit de doelstellingen van de modellen. Tot nu toe heeft nog nooit een vergelijking tussen de resultaten van STONE en SMART2SUMO plaatsgevonden. Het MNP heeft de opdracht gegeven een indicatieve vergelijking te maken tussen beide modellen. Dit rapport beschrijft de resultaten van een eerste indicatieve vergelijking van beide modellen in een geval van landgebruiksverandering voor het veenweide gebied.

Het projectteam bestond uit Janet Mol, Piet Groenendijk, Henk Oosterom, Wieger Wamelink, Wim de Vries, Jan Cees Voogd en Hans Kros. De projectleiding was in handen van Hans Kros.

Dit rapport is het resultaat van een onderzoeksopdracht van het MNP en de WOT Natuur & Milieu aan Alterra. Dergelijke onderzoeksrapporten dragen bij aan de kennis die verwerkt wordt in meer beleidsgerichte publicaties zoals de Natuurbalans, (thematische) verkenningen en quick scans.

Hans Kros

Samenvatting

Achtergrond en doel

De druk op de Nederlandse natuur is hoog. Nieuwe natuur, die zich ontwikkelt op uit productie genomen landbouwgrond, is een belangrijk onderdeel van de schaarse voorraad. Om bestaande en nieuwe natuur een kans te geven, is het zaak om de juiste inrichtings- en beheersmaatregelen te treffen. Bij de daarop gerichte scenario-studies maakt het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) voor de voorspelling van de milieukwaliteit gebruik van STONE, primair ontwikkeld voor landbouwsystemen en SMART2SUMO dat zich richt op natuurlijke systemen. Een model dat zich expliciet richt op de overgang van landbouw naar natuur ontbreekt.

STONE is ontwikkeld om de uit- en afspoeling van stikstof (N) en fosfor (P) naar grond- en oppervlaktewater te voorspellen als resultaat van bemestingsmaatregelen en mestbeleid. Het gaat hierbij om voorspellingen op de regionale en landelijke schaal. Eventueel kan STONE ook gebruikt worden om abiotische informatie te geven (nutriëntenconcentraties en fluxen) ter voorspelling van de terrestrische plantensoorten in landbouwpercelen, maar het model is hiervoor niet ontwikkeld. Zo kan STONE niet gemakkelijk de overgang van landbouw naar natuur doorrekenen, o.a. omdat autonome successie van gras naar houtige vegetatie niet beschreven is. Echter, in graslanden waar het reguliere agrarisch gebruik gestopt wordt, kunnen zowel SMART2SUMO als STONE toegepast onder de voorwaarde dat de het grasland blijft. Een andere beperking is dat STONE geen zuurgraad berekent, welke naast de nutriëntenstatus en de vochttoestand een cruciale factor is bij het voorspellen van plantensoorten.

SMART2SUMO is ontwikkeld om de terrestrische milieukwaliteit (nutriëntenconcentraties en pH in de wortellaag) te voorspellen relevant voor wilde plantensoorten. De toepassing is daarbij beperkt tot niet (of niet meer) bemeste natuurgebieden. SMART2SUMO berekent onder andere de opname van N en P en de uitspoeling van beide elementen uit de wortelzone, maar het model is niet bedoeld om uit- en afspoeling van P en N naar grond en oppervlaktewater te berekenen. Een belangrijk knelpunt binnen SMART2SUMO voor het berekenen van vooral P- uit- en afspoeling is het ontbreken van meerdere lagen. Met wat kunstgrepen kan SMART2SUMO ook gebruikt worden voor de voorspelling van nutriëntenconcentraties in de bovengrond in omstandigheden waar STONE doorgaans gebruikt wordt: reguliere, landbouw, biologische landbouw, en agrarisch natuurbeheer met lichtere vormen van bemesting. De bemesting in SMART2SUMO wordt dan nagebootst door een extra hoog opgelegde depositie en door het vastzetten van de pH op een voor landbouwkundig gebruik gemiddelde.

Dit onderzoek heeft als doel om in het kader van biodiversiteitsscenario's te beoordelen of de N- en P-modellering in STONE en SMART2SUMO met elkaar overeenstemt. Dit gebeurt door concepten van N- en P-dynamiek in de bodem en transportroutes te vergelijken en door het vergelijken van de modelresultaten.

Werkwijze

In dit onderzoek is nagegaan in hoeverre beide modellen in staat zijn om de overgang van landbouw naar natuur te simuleren. Hiertoe zijn de prestaties van STONE en SMART2SUMO ten aanzien van de N- en P-modellering voor biodiversiteitsscenario's vergeleken. Dit is gebeurd door zowel een conceptuele vergelijking als door het vergelijken van de modelresultaten.

De conceptuele vergelijking (hoofdstuk 2) van beide modellen is vooral gericht op de overeenkomsten en verschillen van de procesbeschrijvingen op het gebied van N en P in beide modellen, zoals de N- en P-beschikbaarheid, opname en biomassaproductie. Voor het vergelijken van onderlinge modelresultaten (hoofdstuk 3) zijn met zowel SMART2SUMO als STONE enkele proefberekeningen uitgevoerd. Beide modellen zijn toegepast op een aantal graslanden in het veenweidegebied waar het reguliere agrarisch gebruik is gestopt. Met beide modellen zijn berekeningen uitgevoerd voor een aantal relevante combinaties van bodem, GT en bemestingsniveaus. Daarbij zijn de met SMART2SUMO en STONE berekende N- en P-opname en de biomassaproductie vergeleken. Daarnaast is ook gekeken naar de beschikbaarheid van N en P, die de invoer vormen voor de MOVE-berekeningen, de uiteindelijke biodiversiteitsmodule binnen de Natuurplanner. Om de effecten van landgebruikveranderingen zonder al te veel aanpassingen met STONE te kunnen simuleren is gekozen voor regulier grasland waarbij de bemesting vanaf begin 2001 op nul is gezet. Hierbij is vanaf het jaar 2001 gebruik gemaakt van de biomassa-productie module van ANIMO en niet de empirische groeimodule QUADMOD hierna aangeduid met STONE-ANIMO.

Resultaten

Deze indicatieve toepassing laat zien dat het met beide modellen technisch mogelijk is om de transitie van intensief agrarisch grasland naar (half) natuurlijk onbemest grasland te kunnen simuleren. Beide modellen produceren echter behoorlijk verschillende resultaten. Hierbij is gekeken naar de beschikbaarheid, de mineralisatie, productie, bodemvochtconcentraties en uit- en afspoeling van N en P. Gemiddeld berekent SMART2SUMO vergelijkbare N-beschikbaarheden en lagere P-beschikbaarheden dan STONE-ANIMO. Zowel de N- als P-mineralisatie van SMART2SUMO vallen daarentegen lager uit dan die van STONE. De N-productie van SMART2SUMO komt redelijk overeen met die van STONE-ANIMO (geen significant verschil). De P-productie daarentegen blijft behoorlijk achter bij die van STONE-ANIMO. Gemiddeld berekent STONE-ANIMO een hogere N-afvoer en een lagere P-afvoer naar het grond- oppervlaktewater dan SMART2SUMO. Voor alle bestudeerde uitgangen blijkt SMART2SUMO een beduidend geringere spreiding te berekenen dan STONE-ANIMO.

Conclusies

De belangrijkste conclusies betreffen:

- Beide modellen zijn in potentie geschikt om effecten van landgebruiksverandering door te rekenen, maar vragen nog de nodige aandacht voor modelparameterisatie en de procesformuleringen. De uitkomsten van STONE en SMART2SUMO wijken soms sterk van elkaar af. Waardoor de keuze van het model in sterke mate bepalend wordt voor de uitkomst van de vraag wat er gaat gebeuren als landbouwgrond wordt omgezet in natuur.
- SMART2SUMO berekent voor onbemeste graslanden op veengronden vergelijkbare N beschikbaarheden als STONE-ANIMO, maar lagere P-beschikbaarheden. De gemiddelde N beschikbaarheid van SMART2SUMO (130 kg N) is ongeveer gelijk aan die van STONE-ANIMO (134 kg N), terwijl de P beschikbaarheid van SMART2SUMO (13 kg P) bijna 25% lager is dan die van STONE-ANIMO (17 kg P).
- De gemiddelde N-beschikbaarheid zoals berekend door de modellen ligt lager dan literatuur gegevens (gemiddeld rond de 200 kg N) afgeleid voor drogere situaties met een hogere N-depositie. De gemiddelde P beschikbaarheid van SMART2SUMO komt goed met die van STONE-ANIMO en met literatuurwaarden.
- SMART2SUMO berekent lagere N en P mineralisatie-snelheden. Beiden liggen ca. 20% lager dan de snelheden berekend met STONE. In vergelijking met literatuurgegevens berekent SMART2SUMO voor veengronden te lage N en P mineralisatiefluxen.
- De door SMART2SUMO berekende N-productie ligt ca 20% lager en de P-productie ligt 67% lager dan die van STONE-ANIMO. Een belangrijke oorzaak voor dit verschil is dat P-

limitatie in SMART2SUMO veel te strikt wordt opgelegd. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in het negeren van de P-voorraad in de bodem bij het vaststellen van P-limitatie.

- N-fixatie door stikstofbindende micro-organismen is in STONE-ANIMO niet als proces beschreven. Indien gewenst kan de N-fixatie worden beschreven als een extra additie-term. De gemiddelde N-fixatie in SMART2SUMO bedraagt $50 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. Dit is aan de hoge kant.
- De berekende N-productie door de vegetatie is voor beide modellen vergelijkbaar (geen significant verschil). Daarentegen berekent SMART2SUMO wel een veel lagere P productie (3 versus 9 kg P) dan STONE-ANIMO.
- De door beide modellen berekende N- en P-uitspoelingsfluxen zijn totaal verschillend. SMART2SUMO berekent een vrij lage N uitspoeling (6 versus 10 kg N ha^{-1}) maar een relatief hoge P uitspoeling (5 versus 1 kg P ha^{-1}). De N:P-verhouding van 10:1 in de afvoer naar het grond- en oppervlaktewater zoals berekend door STONE-ANIMO lijkt niet onrealistisch. De oorzaak van de gesignaleerde verschillen moet zeer waarschijnlijk gezocht worden in de verschillen waarin beide modellen de opname van N en P door de vegetatie berekenen en de wijze waarop limitatie van N en P wordt meegenomen.

Aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- De uitgevoerde berekeningen geven waardevolle inzichten, maar zijn te beperkt voor het treffen van overall conclusies. Het is daarom aan te bevelen om een paar locaties op verschillende bodemtypen gedetailleerd te bestuderen met behulp van beide modellen. Essentieel hierbij is dat er goede meetgegevens zijn, op basis waarvan sluitende balansen te maken zijn.
- De wijze waarop de N-beschikbaarheid en N-opname in beide modellen wordt berekend, dient te worden verbeterd en op elkaar te worden afgestemd. Zo houdt bijvoorbeeld SMART2SUMO wel rekening met N-fixatie, maar niet met de extra mineralisatie van veen, terwijl voor STONE-ANIMO het omgekeerde geldt.
- Analooq aan de N-beschikbaarheid en N-opname dient ook de P-beschikbaarheid en P-opname kritisch te worden bekeken en zonodig te worden verbeterd. Momenteel wordt P-beschikbaarheid berekend als de som van P-mineralisatie, P-desorptie en P-verwerking. Onderzocht moet worden of dit een goede maat is voor de P-beschikbaarheid in de bodem.
- P-modellering en parameterisatie in veenbodems met een grotere variatie aan grondwaterstanden dan waar nu vanuit is gegaan dient in beide modellen nader bekeken te worden. Daarnaast is ook de P-modellering en parameterisatie van minerale bodems voor verbetering vatbaar. Zo is bijvoorbeeld de parameterisatie voor alle bodems vooralsnog gebaseerd op alleen zandgrond gegevens.
- Het verdient aanbeveling in een meer gedetailleerde analyse ook de berekende minerale P-voorraad in de bodem te beschouwen en deze te vergelijken met metingen.
- De wijze waarop in SMART2SUMO de P-limitatie wordt bepaald dient te worden herzien. Zo berekent SMART2SUMO een P-beschikbaarheid die duidelijk te laag is, terwijl er wel sprake is van hoge P-concentraties in het bodemvocht. Aan te bevelen is om bij het vaststellen van P-limitatie ook de P-voorraad in de bodem te betrekken.

Summary

Nature areas in the Netherlands are relatively small and suffer from environmental stress. The government has therefore started a programme to transform former agricultural land into natural or semi-natural areas. In order to support this transition, it is important to identify measures that would optimise the chances for such man-made nature areas to persist and flourish. The Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP) uses two ecosystem models to evaluate the effect of management measures on the environmental quality: the STONE model for agricultural ecosystems and the SMART2SUMO model for natural and seminatural ecosystems. A consistent model that explicitly focuses on the transition from agricultural land to semi-natural areas is not available.

STONE has been developed to calculate, at regional and national scales, the drainage of nitrogen (N) and phosphorus (P) from arable land to groundwater and surface waters for various management and policy options. STONE output could potentially also be used to deliver abiotic information (i.e., information on nutrient concentrations and fluxes) that could be used in a terrestrial biodiversity model to predict plant species diversity for former arable land transformed into nature areas. However, the model has not been developed or tested for this particular purpose. Furthermore, the standard STONE model is not able to model the transition from arable land to nature area, as it does not include the autonomous vegetation succession from grassland to scrubland and forest. However, both SMART2SUMO and STONE offer the possibility to simulate such transitions for grassland that is no longer fertilised but remains grassland. Another limitation of STONE is that it lacks dynamic pH calculation, which is another important factor in predicting the occurrence of plant species besides nutrient and moisture availability.

SMART2SUMO has been developed to evaluate environmental quality (nutrient concentrations and pH in the root zone) in semi-natural terrestrial ecosystems, which is a determining factor for the occurrence of plant species. This means that applications of this model are limited to non-fertilised and non-manured natural or semi-natural systems. SMART2SUMO calculates the uptake and leaching of N and P in the root zone. The model has not been developed to calculate drainage of P and N to groundwater and surface waters. An important barrier in this respect is that the model does not include multiple layers within the root zone. With some adaptations, however, SMART2SUMO could also be used to predict nutrient concentrations in the topsoil of systems for which STONE is usually applied, i.e., regular and organic agriculture and extensively managed grassland. In these situations, fertilising and manure spreading can be mimicked in SMART2SUMO by adding the additional nutrients to the atmospheric deposition input and fixing the pH at an average value for agricultural practice.

The present project compared the performance of the STONE and SMART2SUMO models while focussing on the N and P behaviour resulting from land-use change in the framework of various biodiversity scenarios. It also tried to enhance the consistency of the two models where necessary. We compared both the concepts used in the models and the results obtained with them, by applying both models to the same sites.

The conceptual comparison (Chapter 2) of the two models focused on the similarities and differences between the descriptions of the N and P processes they model, such as availability, uptake and biomass production. Model results were compared (Chapter 3) by means of some test calculations for a number of grassland plots on peat soils where the

former agricultural activity had been terminated. Both models were used to calculate a number of combinations of soil types, water tables and fertilisation levels. Subsequently, we compared the N and P uptake and biomass production calculated by SMART2SUMO and STONE. We also compared the N and P availability, which is used as input for the biodiversity module (MOVE) of the Nature Planner model used by the Netherlands Environmental Assessment Agency. In calculating the impact of land-use changes in STONE, the regular fertilisation level was set to zero from the year 2001 onwards. For the period after 2001, we used the biomass production module of the ANIMO model (STONE-ANIMO) instead of the QUADMOD empirical growth module.

The comparison showed that the two models produced very different results. The results of the test calculations offered valuable new insights, but were too limited to allow unambiguous conclusions. Therefore, we recommend some additional comparisons for various soil types. An essential condition for this is the availability of adequate observation data.

The most important conclusions are:

- Both models offer opportunities to evaluate the impact of land-use change, but there is a need to reconsider their parameterisation and the process formulations.
- SMART2SUMO and STONE-ANIMO calculate comparable N availability values for unfertilised grasslands on peaty soils. The average N availability calculated by SMART2SUMO (130 kg N) was more or less equal to that calculated by STONE-ANIMO (134 kg N), whereas the P availability calculated by SMART2SUMO (13 kg P) was around 25% lower than that calculated by STONE-ANIMO (17 kg P).
- The average N availability values calculated by both models are lower than values reported in the literature (on average around 200 kg N), which were however derived for drier circumstances and higher levels of N deposition. The average P availability calculated by SMART2SUMO compares well with that calculated by STONE-ANIMO and with values reported in the literature.
- SMART2SUMO calculated lower N and P mineralisation fluxes than those produced by STONE (a difference of approx. 20%). In comparison with literature data, SMART2SUMO calculated lower N and P mineralisation fluxes for peatsoils.
- The N and P biomass production values calculated by SMART2SUMO were lower than those calculated by STONE-ANIMO, with differences of approx. 20% and 67%, respectively. An important cause of this difference is that P limitation is imposed too rigidly in SMART2SUMO.
- Biological N fixation has not been included as a process in STONE-ANIMO. If this is needed in the future, however, it can easily be incorporated as an additional process. The average N fixation calculated by SMART2SUMO was about 50 kg ha⁻¹ yr⁻¹, which is rather high for the grasslands considered here.
- Calculated N biomass production was similar (no significant difference) in both models, whereas SMART2SUMO calculated a much lower P production (3 versus 9 kg P) than STONE-ANIMO.
- There were considerable differences in the N and P leaching fluxes calculated by the two models. SMART2SUMO calculated a rather low N leaching flux (6 versus 10 kg N ha⁻¹) but a substantially higher P leaching flux (5 versus 1 kg P ha⁻¹). The cause of these differences is most likely the way the two models handle N and P uptake and the way N and P limitations are included in the models.

1 Inleiding

De druk op de Nederlandse natuur is hoog. Om de schaarse voorraad natuur aan te vullen wordt veelal nieuwe natuur ontwikkeld op uit productie genomen landbouwgrond. Een belangrijke vraag die daarbij aan de orde komt is welke inrichtings- en beheersmaatregelen men kan treffen om bestaande en nieuwe natuur een goede kans te geven. Bij scenariostudies gericht op de voorspelling van de milieukwaliteit wordt gebruik gemaakt van de modellen STONE (Wolf et al., 2004), primair ontwikkeld voor landbouwsystemen en SMART2SUMO (Wamelink et al., 2003) dat zich richt op natuurlijke systemen.

STONE is vooral gericht op de uit- en afspoeling van N en P uit de landbouw naar grond- en oppervlaktewater en wordt ingezet voor landsdekkende evaluaties van het mestbeleid. Dit houdt in dat alle relevante grondsoorten en hydrologische situaties in het model zijn opgenomen. Regionale versies zullen in de toekomst ingezet worden voor evaluaties van de Kader Richtlijnwater. De output is tevens te gebruiken als invoer voor de aquatische biodiversiteitsmodelketen. Eventueel kan output uit STONE ook gebruikt worden als abiotische invoer (nutriëntenconcentraties en -fluxen) ter voorspelling van de terrestrische plantensoorten in landbouwpercelen, maar het model is hiervoor niet ontwikkeld. STONE is primair ontwikkeld voor de voorspelling van effecten van mestmaatregelen en mestbeleid op de uit- en afspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater. STONE kan niet gemakkelijk de overgang van landbouw naar natuur doorrekenen, onder andere omdat autonome successie van gras naar houtige vegetatie niet beschreven is. Echter, in graslanden waar het reguliere agrarisch gebruik gestopt wordt, kunnen zowel SMART2SUMO als STONE worden toegepast onder de voorwaarde dat de het grasland blijft. Een andere belangrijke beperking van STONE is dat het geen verandering van de zuurgraad berekent, welke naast nutriënten en vocht een cruciale factor is bij het voorspellen van plantensoorten. Aan de andere kant heeft SMART2SUMO de beperking dat het landbouwverleden niet door het model wordt doorgerekend maar expliciet als initiële conditie moet worden opgelegd en dat geen expliciete formulering is opgenomen voor de toediening van organische mest.

SMART2SUMO is ontwikkeld om in terrestrische systemen de milieukwaliteit (met name N en P en pH in de wortelzone) te voorspellen, relevant voor (half) natuurlijke vegetaties en de ontwikkeling in de vegetatie (successie). Successie is gebaseerd op de biomassaontwikkeling in vijf functionele typen. De toepassing is daarbij beperkt tot niet (of niet meer) bemeste natuurgebieden. SMART2SUMO berekent onder andere de opname van N en P en de uitspoeling van beide elementen uit de wortelzone, maar het model is niet bedoeld om uit- en afspoeling van P en N naar grond en oppervlaktewater te berekenen. Een belangrijk knelpunt binnen SMART2SUMO voor het berekenen van de stoffenbelasting van het oppervlaktewater is dat de hydrologische schematisering en bodemlaagindeling sterk versimpeld is. Ook voor de P-accumulatie als functie van diepte is dit een beperking. In tegenstelling tot STONE is in SMART2SUMO geen aandacht besteed aan landbouwkundig handelen. Echter, in bepaalde situaties zou SMART2SUMO ook gebruikt kunnen worden in omstandigheden waar STONE doorgaans gebruikt wordt: reguliere, landbouw, biologische landbouw, en agrarisch natuurbeheer met lichtere vormen van bemesting. De bemesting in SMART2SUMO wordt dan nagebootst door een extra hoog opgelegde depositie en door het vastzetten van de pH op een voor landbouwkundig gebruik gemiddelde. Hierbij wordt echter voorbij gegaan aan de invloed van de aanvoer van organische mest op mineralisatie en de ammoniakemissie. Daarom is het eventuele gebruik voor landbouwsystemen beperkt tot lichtere vormen van bemesting.

Aangezien beide modellen een bepaalde overlap hebben en tot op zekere hoogte complementair zijn is door het MNP gevraagd om de modellen STONE en SMART2SUMO te vergelijken. Daarnaast dient te worden onderzocht in hoeverre beide modellen geschikt zijn om in een scenariostudie de effecten van landgebruikverandering op zowel de N en P beschikbaarheid (opname) en de daarmee samenhangende biodiversiteit, als de N en P uit- en afspoeling te berekenen.

Doelstelling

Dit onderzoek heeft als doel om in het kader van biodiversiteitsscenario's te beoordelen of de N- en P-modellering in STONE en SMART2SUMO met elkaar overeenstemt. Dit gebeurt door concepten van N- en P-dynamiek in de bodem en transportroutes te vergelijken en door het vergelijken van de modelresultaten. Aan de hand van de analyse van de resultaten worden conclusies getrokken en worden aanbevelingen gedaan voor het op elkaar afstemmen van beide modellen. Deze studie richt zich met name op een vergelijking van de twee modellen onderling en niet zozeer op een vergelijking met meetwaarden. Indien de onderlinge resultaten niet met elkaar overeenkomen, is het niet mogelijk om te beslissen welk model beter voldoet. Daarvoor is onderzoek noodzakelijk waarbij meer gericht wordt op een vergelijking met meetwaarden.

Werkwijze en opzet van het rapport

Bij de uitvoering van dit project is begonnen met een conceptuele vergelijking van de modellen STONE en SMART2SUMO (zie hoofdstuk 2). Op basis van de bestudeerde processen op het gebied van N en P wordt een beknopte uiteenzetting gegeven, waarbij met name aandacht wordt besteed aan de beschrijving van de dynamiek van N en P en de transportroutes, het toepassinggebied (beleidsvragen) en de toepasbaarheid van deze twee modellen.

Vervolgens zijn enkele proefberekeningen van de N- en P-opname en biomassa-ontwikkeling met STONE en SMART2SUMO uitgevoerd (zie hoofdstuk 3). Zowel SMART2SUMO als STONE zijn toegepast op een aantal graslanden in het veenweidegebied waar het reguliere agrarisch gebruik is gestopt. Met beide modellen zijn berekeningen uitgevoerd voor een aantal relevante combinaties van bodem, grondwatertrap (GT) en bemestingsniveaus. Hierbij is aangesloten op de veenweidegraslanden die al eerder met SMART2SUMO zijn doorgerekend (Wamelink & van Dobben, 2004). Om de effecten van landgebruikveranderingen met STONE te kunnen simuleren is gekozen voor regulier grasland waarbij de bemesting vanaf begin 2001 op nul is gezet. Vervolgens is vanaf 2001 alleen met de ANIMO, de bodem-gewasmodule van STONE, verder gerekend. De vergelijking van SMART2SUMO met STONE richt zich op de berekende N en P opname en de biomassaproductie. Daarnaast is ook gekeken worden naar de N en P beschikbaarheid, die de invoer vormen voor de MOVE berekeningen, de uiteindelijke biodiversiteitsmodule binnen de Natuurplanner (Van der Hoek et al., 2000; 2002). Verder is ook de N en P flux aan de onderrand van de wortelzone vergeleken. Op basis van bevindingen in hoofdstuk 2 en 3 wordt in hoofdstuk 4 een aantal aanpassingsvoorstellen gedaan.

2 Vergelijking van modelconcepten

In dit hoofdstuk worden de proceskarakteristieken, het toepassinggebied (beleidsvragen), de toepasbaarheid en de betrouwbaarheid van deze twee modellen en hun uitkomsten summier beschreven. Daarnaast wordt een beknopte uiteenzetting gegeven van de beschrijving van de N- en P-dynamiek en de transportroutes in de twee modellen. Over het gebruik en de toepasbaarheid is al veel geschreven zoals de volgende reviews: STONE (Van Grinsven et al., 2003) en SMART2SUMO (Reijnen & van Oostenbrugge, 2000) en de resultaten van de WUR "Taskforce Kwaliteitsborging Databestanden en Modellen voor het Milieu- en Natuurplanbureau onderzoek". Deze reviews, samen met de overige overzichten, zijn als basismateriaal gebruikt voor dit hoofdstuk. De procesvergelijking richt zich voornamelijk op de beschrijving van N- en P-plantopname en de N- en P-vastlegging.

2.1 Achtergrond STONE

De ontwikkeling van STONE is in 1993 gestart en is een samenwerking tussen RIZA, DLO en RIVM. Het model STONE integreert verschillende modellen en gegevensbestanden van verschillende instituten en kennis van verschillende disciplines. Hierdoor is STONE een complex geheel geworden. Contractueel is vastgelegd dat de drie STONE-partners gelijke baten hebben bij de samenwerking en dus de lasten ook evenredig verdelen. De ontwikkeling is aanvankelijk sterk gestuurd vanuit het Milieuplanbureau-RIVM. De laatste jaren draagt het LNV-onderzoeksprogramma Mest- en mineralenbeleid (398-III) verantwoordelijkheid voor verbeteringen in het model.

Het hoofddoel van het STONE model is het uitvoeren van landsdekkende berekeningen van effecten van het mestbeleid en de landbouwpraktijk op de uitspoeling van N en P naar grondwater en oppervlaktewater. Het model is operationeel en al verschillende malen toegepast voor beleidsevaluatie en -advisering. De meest recente toepassing betreft berekeningen van effecten van gebruiksnormen voor de evaluatie van de Meststoffenwet in 2002 (Wolf et al., 2004) en 2004 (RIVM, 2004). STONE is daarmee het belangrijkste instrument voor het uitvoeren van landsdekkende berekeningen van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden. Tevens worden de resultaten gebruikt bij internationale rapportageverplichtingen. Verder wordt de uitvoer van STONE gebruikt als invoer voor waterkwaliteitsmodellen. In STONE worden de belangrijkste processen die een rol spelen in de N-, de P- en de C-kringloop in de bodem kwantitatief beschreven. Ruimtelijke bestaat STONE uit 6405 unieke rekeneenheden en maakt gebruik van de volgende onderdelen.

- *Hydrologische invoerbestanden* voor uitspoelingsberekeningen met ANIMO. Deze bestanden zijn aangemaakt met het SWAP-model (Kroes et al., 2000) op basis van een hydrologische schematisering van Nederland en berekeningen met het Nationale GRondwaterModel (NAGROM) van RIZA.
- *Een atmosferische module* voor de interactie tussen landgebruik en de N-balans voor de atmosfeer van Nederland. Hiervoor is een meta-model (SRM/OPS), bestaande uit een Source Receptor Matrix, van het OPS-model (Van Jaarsveld, 1995) gebruikt.
- *Een module voor de berekening van de mestdosering* per STONE-plot (CLEAN). Dit model berekent de dierlijke mestgiften en kunstmestgiften voor de zgn. LEI-regio's op basis van o.a. dieraantallen, landgebruik, grondsoort, veronderstelde normeringen, transportmogelijkheden etc. Op basis van grondsoort en landgebruik worden de cijfers van de LEI-regio's neergeschaald naar STONE-plots.

- Een model waarmee de nutriëntenopname van landbouwgewassen wordt berekend (QUADMOD). Quadmod (Ten Berge et al., 2000) gaat uit van de kwadrantenbenadering voor de relatie tussen N-gift, N-leverantie van de bodem, droge stofopbrengst en N-opname van een gewas. Op basis van expert-knowledge zijn hieraan berekeningen voor fosfaatopname en de 'productie' van gewasresiduen toegevoegd.

De kern van de STONE keten is een *vereenvoudigde versie van het ANIMO model* (Groenendijk & Kroes, 1999) waarmee op basis van hydrologie-invoer, bemesting-invoer, depositie-invoer en gewasopname-invoer zoals berekend in de voorgeschakelde modellen de N- en P-uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater wordt berekend voor de 6405 onderscheiden rekenplots (ANIMO). ANIMO is een gedetailleerd proces-georiënteerd simulatiemodel met een rekentijdstap van 1 en 10 dagen en een simulatieduur van 1 – 100 jaar. Vanwege de grote invloed van meteorologische patronen op de uitspoeling van N- en P is gekozen voor een model met een fijne tijdsresolutie. Vanwege de grote invloed van de organische stofhuishouding op mineralisatieprocessen en N- en P-beschikbaarheid in de bodem is ervoor gekozen de organische stofkringloop in redelijk groot detail te beschrijven. In de landelijke schematisering is de ondergrens van het bodemcompartiment op 13 m-mv gesteld. Tussen maaiveld en deze diepte vinden processen plaats (mineralisatie van organische stofhoudende sedimenten) die de achtergrondsuitspoeling naar oppervlaktewater duidelijk kunnen beïnvloeden. Een ander motief voor de modelkeuze was de ambitie om op stroomgebiedsniveau de invloed van waterbeheersstrategieën op de N- en P-uitspoeling naar het oppervlaktewater te kunnen simuleren. Resultaten van ANIMO kunnen worden gebruikt in gedetailleerde procesgeoriënteerde oppervlaktewaterkwaliteitsmodellen.

Recentelijk heeft een evaluatie van STONE plaatsgevonden (Van Grinsven et al., 2003) om de gewenste toekomst van STONE te bepalen. Hierbij zijn de volgende vragen beantwoord:

1. Wat is de vraagstelling voor de komende 5-10 jaar wat betreft de nutriëntenmodellering aan de drie betrokken instituten?
2. Is STONE daarvoor nodig en zo ja, wat voor een STONE? Moet STONE daartoe worden aangepast en waar dan?
3. Wat is de gewenste fasering bij de voorgestelde aanpassingen?
4. Welke organisatiestructuur rondom STONE (voor ontwikkeling, beheer en toepassing) is gewenst?

Uit een aantal genoemde tekortkomingen en wensen blijkt dat er behoefte is aan meer transparantie van de STONE berekeningen en aannames. Aanpassing van de berekeningswijze en aannames aan de vraagstelling is daardoor niet altijd even eenvoudig. Het vergroten van de transparantie zal neerkomen op het verbeteren van de communicatie tussen beleidsadviseurs (de vragers) en de modelleers (de ontwikkelaars).

De prioriteiten van de overige gewenste aanpassingen verschillen per thema - mestbeleid, waterbeleid, en natuurbeleid. In dit verband beperken we ons tot het natuurbeleid. Voor het natuurbeleid is het wezenlijk om de N-belasting op natuurlijke, terrestrische en aquatische, ecosystemen te vergelijken met de kritische N belasting (i.e. de maximale N-belasting waarbij een bepaald natuurdoeltype zich kan realiseren). Dit betekent dat depositiescenario's niet alleen rekening met NH_3 -beleid maar ook met NO_x -beleid moeten houden. STONE bevat een module (SRM/OPS) waarin de NH_3 emissie door de Nederlandse landbouw wordt berekend en waarin aannames ten aanzien van het NO_x -beleid worden verwerkt. Dit geschiedt op basis van een ruimtelijke resolutie die te grof is voor effectberekening op natuur. Het is de vraag of in STONE-kader verder moet worden geïnvesteerd in de verfijning van de ruimtelijke resolutie omdat er andere modellen beschikbaar zijn. Ook wanneer de effectiviteit van maatregelen op het natuurbeleid uitsluitend wordt beoordeeld in termen van het halen van ammoniakplafonds,

is STONE niet het eerst aangewezen model. Het is dan logischer om dit te doen met een combinatie van het mest- en ammoniakmodel (MAM) en het DRAM- model van het LEI in combinatie met OPS en de modellentrein SMART2, SUMO, MOVE. In dit kader is er in 2004 een project uitgevoerd bij LEI en Alterra in opdracht van het Milieu- en Natuurplanbureau (Helming et al., 2005).

Onderzoek naar de betrouwbaarheid van STONE laat zien dat veel aspecten, met name op een fijner schaalniveau dan dat op nationaal niveau, nog onvoldoende onderzocht zijn (Rötter et al., 2001). Dit wordt deels veroorzaakt door het ontbreken van geschikte gegevenssets ter validatie. STONE is vooralsnog alleen geschikt is om uitspraken te doen voor relatief grote arealen. Vooral de landsdekkende uitspraken over nitraatuitspoeling naar het grondwater en fosfaatophoping in de bodem worden als het meest betrouwbaar beschouwd. Geconcludeerd is dat de interpretatie van de resultaten ten aanzien van beleidsondersteuning zorgvuldig zal moeten plaatsvinden en eerst breed besproken en geaccordeerd moeten worden door deskundigen, voordat tot rapportage en publicatie kan worden overgegaan.

2.2 Achtergrond SMART2SUMO

Het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) presenteert elk jaar een Natuurbalans en om de vier jaar een Natuurverkenning. Voor deze rapportages en ter beantwoording van ad-hoc beleidsvragen gebruikt het planbureau modellen, meetnetten en kennis van verschillende onderzoeksinstituten.

Om de wetenschappelijke kwaliteit van planbureauproducten te waarborgen, laat het MNP jaarlijks een externe wetenschappelijke review uitvoeren van modellen en methoden die worden gebruikt in de natuurverkenningen en balansen. SMART/SUMO-MOVE betreft het landelijk multistress voorspellingsmodel voor de terrestrische vegetatie. Deze modellijn maakt deel uit van het kerninstrumentarium van het MNP (Van Hinsberg & Kros, 1999) en is integraal opgenomen in het Decision Support System 'de Natuurplanner' (Van der Hoek et al., 2000). SMART2 (Kros, 2002) is het procesgerichte bodemmodel dat wordt ingezet in de landelijke multistress-modellering voor de milieu- en natuurplanbureau functies. SUMO is de vegetatie module van SMART2SUMO, een (successie)module die de interacties tussen de bodem en de vegetatie dynamisch beschrijft (Wamelink et al., 2000). SMART2SUMO rekent voor ca. 30 000 natuurcellen van 250 m × 250 m en bestaat uit een aantal onderdelen.

- *Hydrologische invoerbestanden* met jaarlijkse waterbalansen voor bodem, grondwatertrap en vegetatiecombinaties. Deze balansen zijn gebaseerd op van te voren uitgevoerde SWAP berekeningen.
- *Invoerbestanden met hydrologische (kwelflux) en depositie (NO_x , NH_3 en SO_x) scenario's.*
- *Het model SMART2* dat bestaat uit een stelsel van massabalansvergelijkingen, welke de in- en uitvoerrelaties van het bodemcompartiment beschrijven. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van een set van vergelijkingen voor het beschrijven van de snelheids- en evenwichtsprocessen in de bodem. Door de geringe databeschikbaarheid voor bodemmodellering op nationale schaal is de beschrijving van het aantal processen beperkt tot alleen de cruciaal geachte ecosysteemprocessen en is de beschrijving van die beschouwde processen zo eenvoudig mogelijk gehouden. De bodemchemie in SMART hangt af van de input vanuit de atmosfeer (depositie), de input vanuit het grondwater (kwel), kronendak interacties, nutriëntencycclus-processen en geochemische interacties in de bodem en de bodemoplossing.
- *Het model SUMO* dat op basis van de beschikbare hoeveelheid stikstof, licht, gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en beheer de groei van biomassa beschrijft voor vijf functionele typen. Het model simuleert de ontwikkeling en de successie van de vegetatiestructuur in

termen van deze typen (kruiden, dwergstruiken, struiken, pionierbomen en climaxbomen). Voor elk type worden drie organen gesimuleerd: wortels, houtige niet fotosynthetiserende delen en bladeren. De concurrentie om N en P tussen de typen vindt plaats op basis van de aanwezige wortelbiomassa. De concurrentie om licht tussen de typen vindt plaats op basis van de lengte en de bladbiomassa. Om dit mogelijk te maken wordt van elk functioneel type de lengte gesimuleerd. De hoeveelheid biomassa die per functioneel type aanwezig is, bepaalt het voorspelde vegetatietype. Hierdoor wordt het mogelijk successie te voorspellen. Bodemtype en voorjaarsgrondwaterstand bepalen bij successie de boomsoort. Voor de overige functionele typen wordt geen onderscheid gemaakt in soorten.

De modellen SMART2 en SUMO zijn recentelijk aan een review onderworpen. De aanbevelingen van de referenten voor de verdere ontwikkeling en verbetering van SMART2-MOVE zijn grotendeels in lijn met voorgenomen en/of al ingezette acties. Het Natuurplanbureau ondersteunt de ingezette acties. Dit houdt in dat de voor het Natuurplanbureau beschikbare capaciteit bij betrokken onderzoeksgroepen op het RIVM en Alterra effectief moet worden ingezet. Op basis van de review ligt het accent op onzekerheid/gevoeligheidsanalyse, validatie met meetgegevens, verbetering van SMART2SUMO in natte systemen en aandacht voor fijschalige systemen. Hierbij is een nadere discussie gewenst over:

- De wenselijkheid en de haalbaarheid van het streven naar verdere ruimtelijke detaillering en verfijning van de modeluitspraken ten behoeve van landelijke toepassingen in planbureauverband. Zoals de referenten aangeven, vormen ruimtelijke databestanden een beperkende factor en bron van onzekerheid en heeft verfijning van de modelinvoer ten opzichte van het verleden aan geleid tot modelverbetering. Daar tegenover staat de wens voor een zoveel mogelijk eenvoudig model (zoals ook door de referenten is aangegeven) en de kosten van dataverzameling. Uitgangspunt voor die discussie is het plan voor meerjaren onderzoek voor ecologische modellen (Van Hinsberg et al., 2000), wat ingaat op de mogelijkheden om bestaande databronnen te gebruiken voor verbetering van de modellen. In dit verband wordt in 2004 en 2005 wordt een project uitgevoerd in opdracht van het NMP om aan de ruimtelijke detaillering te werken en wordt een zogenaamde hotspotskaart gemaakt.
- Het ontwikkelen van een dispersiemodel voor planten. Hiermee zal in 2005 worden gestart.
- De resultaten van SMART2MOVE worden momenteel primair gepresenteerd als natuurwaarde-graadmeter (zie Milieuverkenningen 5) met een landelijk getal of getallen per natuurtype per fysisch geografische regio (bv. open duinen en laagveenmoerassen). De vraag is of voor natuurplanbureau-producten ook informatie is gewenst over afzonderlijke natuurgebieden (enkele percelen groot), grotere gebieden (zoals Veluwe-massief), afzonderlijke natuurdoeltypen en/of gebiedsgerichte problematiek. Dergelijke vragen stellen nadere eisen aan ruimtelijke databestanden en modelformuleringen dan landelijke uitspraken. Mogelijkheden voor modelaanpassing zijn beschreven in Van Hinsberg et al. (2000). Aandachtspunten zijn of het MNP deze problematiek tot haar kerncompetentie beschouwd en of de combinatie van SMART2SUMO-MOVE voor met name afzonderlijke natuurgebieden van enkele percelen groot het meest geëigend is.

2.3 Verschillen en overeenkomsten

STONE en SMART2SUMO zijn beide zijn onderdeel van het standaard modelleninstrumentarium van het Milieu- en Natuurplanbureau en worden als zodanig ingezet bij het opstellen van de Milieu- en Natuurverkenningen en Milieu- en Natuurbalansen. Hiertoe zijn beide modellen als

Tabel 1 overzicht van de belangrijkste verschillen tussen SMART2SUMO en STONE

Aspect	SMART2SUMO	STONE/ANIMO
Toepassingsgebied	Terrestrische natuur	Landbouw
Stoffen	Transitie landbouw-natuur N, P, C (org. stof), pH, Na, K, Ca+Mg, HCO ₃ , SO ₄ , Cl	Natuur als onbemest gasland N, P,C (org. stof)
Aantal bodemlagen	Eén laag (wortelzone)	Meerdere lagen tot op 13 m-mv
Tijdstap	Jaar	Decade (10 dagen)
Hydrologie (bovenrand)	Waterbalans op jaarbasis op basis van bijv. Swap runs. Niet dynamisch. wel een eenvoudige terugkoppeling tussen vegetatieontwikkeling en transpiratie.	Koppeling op afstand met Swap uitvoer op dagbasis, met daarin tevens de bodemtemperatuur. Geen terugkoppeling van NP-opname (productie) naar transpiratie
Hydrologie (onderrand)	Kwelfluxen zoals berekend door het model LGM en opgelegd aan de onderkant van de wortelzone	Kwelfluxen opgelegd aan de onderrand op 13 m-mv, berekend met NAGROM
Depositie	Via OPS.	Via OPS.
Doorval	Depositie×filtering factor, afhankelijk van leeftijd en type vegetatie	=depositie
Mest	Geen mest toevoer	Bemesting berekend door MAM of CLEAN in afhankelijkheid van grondgebruik, mestregelgeving, beleidsontwikkeling, etc. Resulteert in N en P toevoer naar uitspoelingsmodule (op jaarbasis) in de vorm van organische en kunstmest. Op basis van kennistabel omgezet naar mestgift per decade
N-fixatie	Summier aanwezig in SUMO, o.a. afhankelijk van biomassaproductie	Geen eigen module. Kan desgewenst via additiefles worden ingevoerd
Organische pools	Twee (oud en vers)	Vier, waarvan de verse mest-pool wordt onderverdeeld in sub-pools. (maar in principe onbeperkt). Opgelost organische stof wordt tevens onderscheiden.
(De)nitrificatie	Eerste orde (NO ₃ /NH ₃ concentratie); k = functie van bodem, en GT reductie functie voor temperatuur, vocht en pH	Potentiële denitrificatie evenredig met respiratie organische stof. Respons factoren voor vochtgehalte, nitraatgehalte, pH
P sorptie	Volgens Freundlich - (alleen desorptie) en Langmuir evenwicht (de- en adsorptie) ¹⁾	Instantane pool beschreven volgens Langmuir sorptie-isotherm. Diffusie-precipitatie beschreven met een 3-site Freundlich niet-evenwichtsvergelijking, chemische precipitatie beschreven als instantane neerslag/dissolutie
Groei vegetatie	Groefunctie afhankelijk van licht, vocht, nutriënten en temperatuur	Droge stofproductie, N- en P-opname en plantresiduen berekend met module Quadmod van PRI, geparametriseerd voor gras, snijmaïs, bieten, aardappelen en wintertarwe op basis van regionale inventarisaties en uitgebreide statistische bewerking Voor natuur wordt een ANIMO-module gebruikt waarin biomassagroei afhankelijk is van straling, relatieve transpiratie en nutriënten-concentraties in wortelzone.
Beheer	Maaien, begrazen, verschillende soorten bosbeheer, brand, plaggen	Per periode van 15 jaar een constant landgebruik; begrazen en maaien afhankelijk van ingestelde drempelwaarden voor droge stofproductie
Belangrijkste model uitgangen	N en P beschikbaarheid stofconcentraties en pH in wortelzone Uitspoeling aan onderrand wortelzone Biomassa NPP Ontw. van vegetatiestructuur (5 lagen)	Opname N en P door planten. Concentraties in verschillende bodemcompartimenten en grondwater N en P uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Herkomst van bronnen (landbouw, kwel, achter-grondsuitspoeling), P-accumulatie in de bodem.

¹⁾ Voor deze toepassing is de Freundlich adsorptie als irreversibel beschouwd. Er vindt dus geen desorptie vanuit deze pool plaats (zie paragraaf 3.1)

rekenhart opgenomen in een groter raamwerk bestaande uit databases en toeleverende modellen. In deze paragraaf wordt een globaal overzicht gegeven van de meest relevante verschillen en overeen van de modellen ANIMO (zoals opgenomen in STONE) en SMART2SUMO zoals opgenomen in de Natuurplanner). In deze studie is uitgegaan van STONE versie 2.1 en van de SMART2SUMO versie bestaande uit SMART2.dll versie 2.0 en SUMO.dll 3.0 (versie november 2004). Allereerst wordt in Tabel 1 een globaal overzicht gegeven, waarna achtereenvolgens in paragraaf 2.3.1 wordt ingegaan op de N- en P-processen, in paragraaf 2.3.2 op de schematisering en ten slotte in paragraaf 2.3.3 op berekende uitgangen.

2.3.1 Beschrijving N- en P-processen

Bladopname

In SMART2SUMO wordt bladopname van N berekend als een vaste fractie van de totale NH_3 -depositie, de bladopname van H^+ wordt berekend als een vaste fractie van de totale H-depositie. H-depositie wordt berekend m.b.v. ladingsbalans voor kationen en anionen. De exudatie van kationen is gelijk aan de bladopname van NH_4^+ en H^+ en wordt verdeeld over K^+ and BC^{2+} . De bladopname wordt in SMART2 berekend en vervolgens aan SUMO doorgegeven.

In STONE-ANIMO wordt geen bladopname gemodelleerd.

Plantengroei en wortelopname

In SMART2SUMO wordt de plantengroei gesimuleerd door SUMO, uitgaande van een maximale groeisnelheid (ton droge stof per ha per jaar) per functioneel type. Deze maximale groeisnelheid kan gereduceerd worden in afhankelijkheid van de stikstofbeschikbaarheid (gesimuleerd door SMART2) en de lichtbeschikbaarheid. De groei kan ook worden gereduceerd door vochttekort. De stikstofbeschikbaarheid wordt verdeeld over de vijf functionele typen afhankelijk van de onderlinge verhouding van de wortelbiomassa van de typen. Hoe meer wortelbiomassa hoe meer stikstof wordt opgenomen, tot een maximum. Dit maximum wordt bepaald door de maximale groeisnelheid en het maximale stikstofgehalte van een functioneel type. De biomassatoename en de opgenomen hoeveelheid stikstof wordt volgens een vaste sleutel verdeeld over de organen, waarbij de verdeling van de stikstof over de biomassa anders is dan die van koolstof. Hierdoor hebben de drie organen verschillende N-gehaltes. De verdeling van de lichtbeschikbaarheid over de functionele typen gebeurt op basis van de lengte van het type en de bladbiomassa. De aanwezige bladbiomassa wordt verdeeld over vijf blokken, waarbij in het bovenste blok alleen blad zit van het hoogste type, in het tweede blok bladbiomassa van het hoogste en een na hoogste type, enz. De bladbiomassa van de typen wordt evenredig over de lengte verdeeld en komt daarna in de blokken naar gelang de lengte van de blokken. Licht interceptie vindt daarna plaats binnen een blok op basis van de aanwezige bladbiomassa (naar rato). De totale interceptie is dan de som van de interceptie in de verschillende blokken waarin het functionele type zich bevindt.

In SMART2SUMO worden kruiden (inclusief grassen), dwergstruiken, struiken, pionierboom en climaxboom onderscheiden. Voor pionierboom en climaxboom worden specifieke boomsoorten gekozen afhankelijk van de te simuleren aanplant of successie, terwijl de overige typen gebaseerd zijn op een gemiddelde van meerdere plantensoorten per functioneel planttype.

In STONE versie 2.1 wordt de gewasopname door landbouwgewassen gemodelleerd met het model QUADMOD. QUADMOD is een empirisch model voor de berekening van de gewasafvoer, gebaseerd op de resultaten van bemestingsproeven. De QUADMOD-benadering (Ten Berge et al., 2000) is ontwikkeld en geïmplementeerd voor STONE 2.0 omdat ANIMO

soms onrealistische gewasopbrengsten en gewasafvoeren van N en P berekent, met name voor graslanden. Bovendien wordt gewasopname gezien als één van de processen waarvan relatief veel bekend is en waarvan het zinvol is dit proces met grote betrouwbaarheid te beschrijven. Met de implementatie van de QUADMOD-module binnen STONE is de biofysisch/mechanistisch georiënteerde benadering in ANIMO vervangen door een empirische benadering. De opname wordt bepaald door het stikstofleverend vermogen van de bodem, de totale werkzame stikstof van de mestgiften en het beweidingspercentage.

In STONE-kader wordt in ANIMO natuur als onbemest grasland gesimuleerd en de voor de groei van biomassa wordt een afzonderlijke module gebruikt. In deze module wordt de groei van biomassa berekend in afhankelijkheid van straling, lichtuitdoving als gevolg van de hoeveelheid biomassa, de relatieve transpiratie zoals berekend met het SWAP-model, en de nutriëntenopname. Geproduceerde biomassa en opgenomen N en P worden verdeeld tussen spruit en wortel systeem van de vegetatie. De vegetatie kan worden begraaasd en gemaaid, waarbij maaien plaatsvindt bij overschrijding van een ingestelde drempelwaarde voor de bovengrondse productie.

Strooiselproductie en wortelsterfte

In SMART2SUMO worden de bladval en wortelsterfte door SUMO berekend als vaste fractie van de biomassa. De wortelsterfte wordt verdeeld over de strooisellaag en de minerale laag op basis van de distributie van het wortelstelsel. De distributie wordt door invoerparameters opgelegd aan SMART2. Dode takken en stammen komen in een aparte pool terecht met een zeer lage afbraaksnelheid ($0.1 \times$ de afbraaksnelheid van humus). Alle nutriënten gealloceerd in stammen en takken worden inert verondersteld, waardoor er verder niets mee gedaan wordt. Voordat dood materiaal in het strooisel terecht komt wordt er stikstof teruggetrokken uit het dode materiaal. Deze stikstof komt niet in het strooisel en is dus niet beschikbaar voor concurrentie tussen de verschillende functionele typen.

Voor natuur simuleert ANIMO de biomassagroei. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in een bovengrondse pool en een ondergrondse pool. Aan het einde van het groeiseizoen (november) sterft de bovengrondse levende biomassa grotendeels af en wordt dan aan een verse pool van bodem-organische stof toegevoegd. De levende wortels sterven continue af volgens eerste orde kinetiek. Het residu wordt in dezelfde tijdstap aan een verse pool van bodem-organische stof toegevoegd.

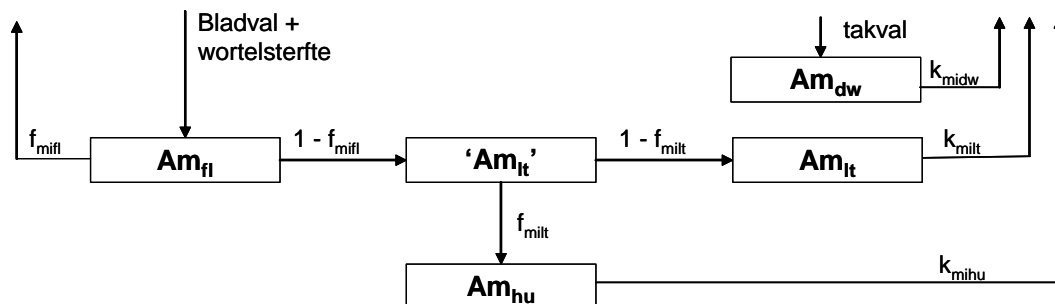
Mineralisatie

SMART2SUMO

In de oorspronkelijke versie van SMART2 zijn twee pools met organische stof aanwezig: een stabiele en een labiele pool. De stabiele pool is de organische stof in de minerale grond die niet kan mineraliseren, maar wel stikstof kan immobiliseren wat vrij beschikbaar is. De mate van immobilisatie is afhankelijk van de C/N-ratio van die pool. De labiele pool bestaat uit een deel vers strooisel en een deel oud strooisel. Een fractie van het vers strooisel mineraliseert binnen een jaar ($1 - f_{mi}$), de rest (f_{mi}) gaat over naar oud strooisel, dat met een 1e orde reactie mineraliseert. Via de mineralisatie komen nutriënten vrij uit deze labiele pool. Vers strooisel dat niet mineraliseert gaat naar de pool 'oud strooisel'.

Uit een validatiestudie van SMART2SUMO (Wamelink et al., 2001), waar SMART2SUMO werd toegepast op een chronosequentie op voormalige landbouwgronden, bleek dat er te weinig stikstof vrijkwam uit de landbouwgrond. Daarom is toen de organische stof die aanwezig was in de landbouwgrond allemaal in de labiele pool 'oud strooisel' gestopt.

Om de organischestofdynamiek als gevolg van landgebruikverandering beter te modelleren is een humuspool geïntroduceerd en daarmee een derde pool van waaruit nutriënten kunnen mineraliseren (Figuur 1). Deze humuspool bevat de hoeveelheid organische stof die gedurende de landbouwkundige voorgeschiedenis is geaccumuleerd. Feitelijk betreft dit dus het initiële organischestofgehalte op het moment van landgebruikverandering. De mineralisatie flux van N, P, K en BC2 uit deze pool, $X_{mi,lb}$ wordt beschreven met een eerste-orde reactie. De mineralisatie flux van N, P, K en BC2 uit de humuspool, $X_{mi,hu}$ is analoog aan die van oud strooisel pool: Voor wat betreft de mineralisatie van dode wortels wordt er vanuit gegaan dat ze binnen een jaar volledig afbreken. De pools voor vers en oud strooisel zijn dan nog leeg en worden pas gevuld als er 'natuurlijke' vegetatie ontstaat. De humuspool kan worden aangevuld door een deel van het oud strooisel over te laten gaan in humus middels een fractie ($f_{mi,lt}$), net als bij de overgang van vers strooisel naar oud strooisel. De mineralisatieconstante voor humus ($k_{mi,hu}$) is vooralsnog gelijk aan die van oud strooisel ($k_{mi,lt}$).



Figuur 1 Opbouw en mineralisatie van organische stof in SMART2-SUMO

De actuele waarden voor de mineralisatie fractie ($f_{mi} = f_{mi,fl}$ of $f_{mi,lt}$) en mineralisatie constante ($k_{mi} = k_{mi,fl}$ of $k_{mi,lt}$) zijn maximum waarden, die gereduceerd worden door factoren als bodemvocht (GVG), pH en de C/N en C/P ratio. GVG en pH hebben invloed op alle mineralisatiefluxen. De N-mineralisatie wordt daarnaast nog beïnvloed door reductie functies voor de C/N-ratio en de P-mineralisatie voor de C/P-ratio. Hierdoor komt boven een kritische (maximale) C/N of C/P ratio komt de N of P mineralisatie volledig stil te liggen, terwijl bij C/N of C/P ratio's die gelijk zijn aan de corresponderende ratio's in de afbrekende micro-organismen de C en P mineralisatie gelijk is aan de C mineralisatie. De N reductiefunctie is afkomstig van Janssen (1984). Voor P is aangenomen dat deze analoog is aan de reductiefunctie voor N. Waarbij de kritische C/P en de C/P-ratio in schimmels die verantwoordelijk zijn voor de mineralisatie van strooisel gebaseerd zijn op Janssen (1983).

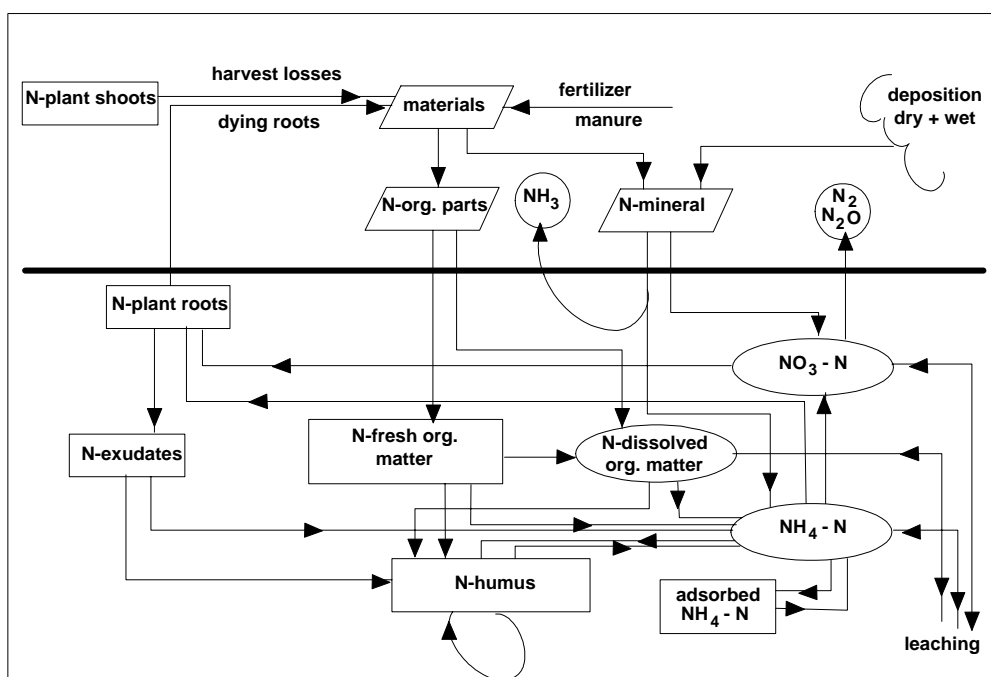
STONE

In het model STONE worden de belangrijkste processen die een rol spelen in de stikstof-, de fosfor- en de koolstofkringloop in de bodem kwantitatief beschreven. Het model STONE is grotendeels gebaseerd op het model ANIMO (Groenendijk & Kroes, 1999).

De stikstofcyclus is schematisch weergegeven in Figuur 2. In de stikstofkringloop zijn de volgende processen beschreven:

- toediening van organisch stikstof met verschillende soorten organisch materiaal aan de bodem zoals vaste mest, drijfmest, plantenresten, stro, etc. Een gedeelte van de mest en drijfmest bestaat uit opgelost organisch stikstof;
- de uitscheiding van organisch stikstof in wortellexudaten en afsterving van haarwortels behalve bij gras;
- de toediening van organisch stikstof aan de bodem door afsterving van wortels bij gras;

- de mineralisatie en immobilisatie van stikstof als gevolg van de afbraak van vers organisch materiaal, wortellexudaten, haarwortels en opgelost organisch materiaal en de vorming van humus/biomassa;
- de mineralisatie van stikstof als gevolg van de dissimilatie van de humus;
- de aanvoer van mineraal stikstof bij de toediening van mest, kunstmest en andere materialen, alsmede door de droge en de natte depositie uit de atmosfeer;
- de vervluchtiging van een gedeelte van het toegediende ammonium;
- de adsorptie van ammonium aan de vaste bodemfase;
- de nitrificatie van ammonium in aanwezigheid van voldoende zuurstof;
- de denitrificatie van nitraat onder gedeeltelijk en volledig anaërobe omstandigheden;
- de opname van ammonium en nitraat door het gewas.



Figuur 2 Schema van de N-kringloop in ANIMO

Het organische deel van de stikstofkringloop verloopt grotendeels parallel aan de organische stofcyclus. Bij de definitie van de materialen wordt per fractie een stikstofgehalte opgegeven. Voor zowel bovengrondse als ondergrondse biomassa van de vegetatie wordt een minimum en maximumgehalte gedefinieerd. Deze minimum- en maximumwaarden zijn in STONE ingevoerd op basis van gegevens van grasland, maar zouden nader te specificeren zijn voor natuurlijke vegetaties.

De relatieve mineralisatiesnelheid hangt af van de C/N verhouding in het verse materiaal, de C/N verhouding in de te vormen humus/biomassa en de assimilatie/dissimilatie-verhouding. Nitrificatie is in het algemeen een snel proces. Op zandgronden bevindt het overgrote deel van mineraal stikstof zich in de nitraatvorm. In klei- en veengronden neemt ammonium een belangrijker deel in. Vervluchtiging is eenvoudig gedefinieerd als een fractie van de toegediende hoeveelheid ammonium. Adsorptie van ammonium is geformuleerd als een lineair proces, er vanuit gaande dat ammonium in de totale kationsamenstelling relatief onbelangrijk is. Voor stikstof is de opname een belangrijk onderdeel totale stroom die jaarlijks in omloop is. Het model bevat een module voor de berekening van de stikstofopname door de vegetatie.

Stikstof kan worden opgenomen met de transpiratiestroom. Indien de behoefte van de plant groter is dan alleen met de waterstroom zou worden opgenomen vindt actieve opname plaats. De snelheid van actieve opname is afhankelijk van de behoefte van de plant en het mineraal stikstofgehalte van de bodem. Indien het verschil tussen behoefte van de plant en gerealiseerde opname groter is dan een bepaalde drempelwaarde, ondervindt de plant schade. Deze schade kan later in het groeiseizoen niet meer worden gecompenseerd.

(De)nitrificatie en N-beschikbaarheid

SMART2SUMO

In SMART2SUMO is de N-beschikbaarheid (N_{bes}) de drijvende kracht achter de biomassaproductie. Daarnaast wordt de N beschikbaarheid gebruikt als belangrijke ingang voor het model MOVE dat een uitspraak doet over floristische soortensamenstelling. Deze is in het model gedefinieerd als de bruto N-hoeveelheid die in potentie beschikbaar is voor (de)nitrificatie, immobilisatie, opname en uitspoeling. Deze hoeveelheid wordt berekend als de som van de totale input via atmosferische depositie (N_{de}), de bruto mineralisatie (N_{mi}) en fixatie (N_{fi}):

$$N_{bes} = N_{de} + N_{mi} + N_{fi} \quad (1)$$

In de stand-alone van SMART2 wordt echter geen rekening gehouden met N-fixatie. Dit geldt ook voor de N beschikbaarheid die vanuit SMART2SUMO binnen de Natuurplanner wordt doorgegeven aan het model MOVE voor het evalueren van de verandering in soortensamenstelling.

Nitrificatie wordt in SMART2SUMO bepaald als fractie van de toevoer van NH_4 via mineralisatie en depositie. Denitrificatie wordt eveneens als een fractie bepaald, maar dan van de hoeveelheid NO_3 die uitspoelt aan de onderkant van de wortelzone. Net als mineralisatie is (de)nitrificatie via reductiefuncties afhankelijk gemaakt van temperatuur, pH en vocht.

STONE

In STONE en ANIMO wordt de N-beschikbaarheid niet als een standaard modeluitgang berekend. De biomassaproductie in STONE wordt gestuurd via het stikstofleverend vermogen van de bodem en die in ANIMO via een biofysisch/mechanistisch georiënteerde benadering (zie hierboven). Om toch een vergelijking met deze voor SMART2SUMO belangrijke uitgang te kunnen maken is de N-beschikbaarheid specifiek voor deze vergelijkingsstudie samengesteld uit de standaard uitvoer van ANIMO: de bruto mineralisatie in de wortelzone en de toevoer via depositie. In STONE wordt geen rekening gehouden met N-fixatie door stikstofbindende micro-organismen. Zonodig kan N-fixatie in het model worden ingevoerd als additie van vers-organisch materiaal met een eigen N-gehalte.

P-accumulatie en P-beschikbaarheid

SMART2SUMO

Bij de P-formulering in SMART2 is zoveel mogelijk aangesloten bij de formulering in ANIMO (Groenendijk & Kroes, 1999). In SMART2 kan P op drie manieren vrijkomen door:

- mineralisatie (zie hierboven);
- 'oplossen'/desorptie;
- verwerking.

De P-beschikbaarheid wordt berekend als de som van deze drie.

Desorptie vindt deels plaats via een snelle reversibele (P_{des}) reactie en deels via een langzame reactie (P_{des}) (Schoumans & Groenendijk, 2000). De snelle reactie wordt beschreven door een Langmuir vergelijking. Wanneer een evenwicht verondersteld wordt kan de P-concentratie berekend worden volgens (analoog aan de berekeningen van $[SO_4^{2-}]$ in SMART):

$$P_{ads} = \frac{P_{ads_{mx}} \cdot [H_2PO_4^-]}{C_{1/2} + [H_2PO_4^-]} \quad (2)$$

Hierin is P_{ads} de hoeveelheid geadsorbeerd P ($mmol\ kg^{-1}$) en $P_{ads_{mx}}$ is de maximale P adsorptiecapaciteit ($mmol\ kg^{-1}$). Voor kalkarme zandgronden geldt dat $ctP_{ads_{mx}}$ gelijk is aan 1/6 van de hoeveelheid oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium ($=AlFe_{ox}$ in $mmol\ kg^{-1}$). $C_{1/2}$ is de half-verzadigingsconstante ($mol\ m^{-3}$). Deze is gelijk aan $1/K$ waarin K = adsorptieconstante ($m^3\ mol^{-1}$) (= 35 in kalkarme zandgronden).

De evenwichtsconcentratie uit de vorige tijdstap wordt gebruikt in de Freundlich vergelijking om de langzame desorptie (P_{des}) te berekenen:

$$P_{des} = k_{dif} \cdot (K_F \cdot [H_2PO_4^-]^N - P_{ads}) \quad (3)$$

waarin P_{ads} is de hoeveelheid geadsorbeerd P in de vorige tijdstap ($mmol\ kg^{-1}$), K_F is de Freundlich adsorptiecoëfficiënt ($(m^3\ mol^{-1})^{1/N}\ mmol\ kg^{-1}$), N is de Freundlich exponent (-), a is de diffusie of precipitatie snelheidsconstante (j^{-1}) en C is de ortho-P concentratie ($mol\ m^{-3}$).

Bij kalkloze zandgronden is 1/3 deel van de geadsorbeerde P reversibel gebonden en komt gemakkelijk vrij en 2/3 deel komt zeer langzaam vrij (Schoumans & Groenendijk, 2000). In STONE is de parameterisatie voor kalkloze zandgronden aangehouden, omdat er voor de overige gronden te weinig data beschikbaar zijn. Vooralsnog is dezelfde parameterisatie als in STONE aangehouden, maar in de dataset van het vitaliteitsmeetnet zijn gegevens beschikbaar waarmee het mogelijk is ook voor andere bodemtypen adsorptieconstanten af te leiden. Momenteel is de adsorptieconstante onafhankelijk van pH en grondwaterstand.

Voor de hier uitgevoerde vergelijking is echter de langzame desorptie niet meegenomen. Langzame adsorptie. Deze hoeveelheid wordt dus als een irreversibel geadsorbeerde hoeveelheid verondersteld (zie ook paragraaf 3.1).

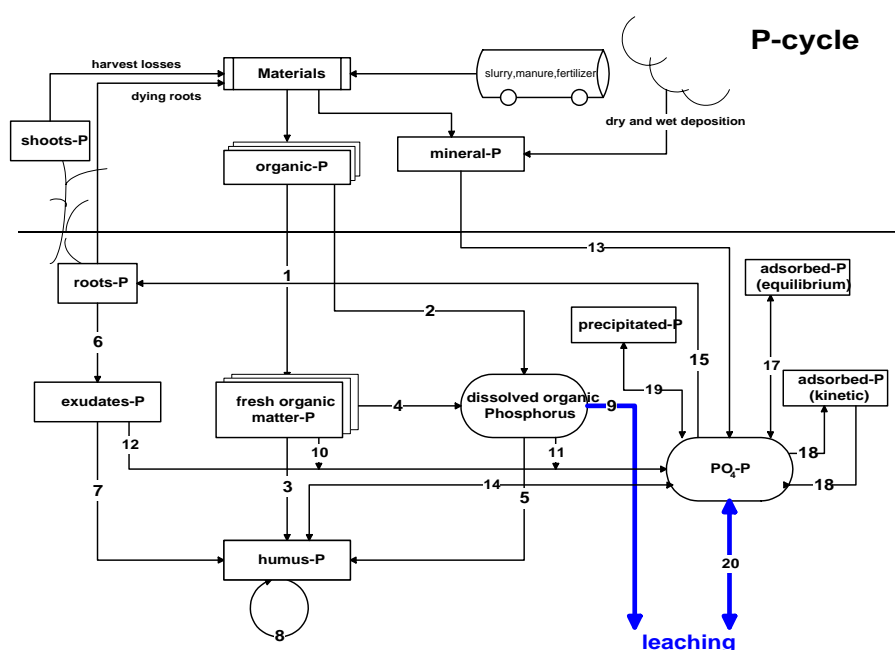
De verwerking van P uit primaire mineralen is gekoppeld aan de basenverwerking (BC2) hiertoe wordt uitgegaan van een vaste verhouding tussen P en BC2 in mineralen.

STONE

De beschrijving van de fosforcyclus bevat de volgende onderdelen:

- toediening aan de bodem van organisch fosfor via vaste mest, drijfmest, plantenresten en stro. Een deel van de mest en drijfmest bestaat uit opgelost organisch fosfor;
- de uitscheiding van organisch fosfor door afsterving van wortels, behalve bij gras;
- de toediening van organisch fosfor aan de bodem door afsterving van wortels bij natuurlijke vegetaties (onbemest gras);
- de mineralisatie en immobilisatie van fosfor als gevolg van de afbraak van vers organisch materiaal, wortelresiduen en opgelost organisch materiaal en de vorming van humus/biomassa;
- de mineralisatie van fosfor als gevolg van de dissimilatie van de humus;
- de aanvoer van mineraal fosfor bij de toediening van mest, kunstmest en andere materialen, alsmede door de natte depositie uit de atmosfeer;

- De fosforkringloop is schematisch weergegeven in Figuur 3.



Evenals bij stikstof loopt het organische deel van de fosforkringloop grotendeels parallel aan de organischestofcyclus. Bij de definitie van de materialen wordt per fractie een fosforgehalte opgegeven. De relatieve mineralisatiesnelheid hangt af van de C/P verhouding in het verse materiaal, de C/P verhouding in de te vormen humus/biomassa en de assimilatie/dissimilatie-verhouding. Reversibele sorptie van fosfaat wordt beschreven met een Langmuir-curve. Deze curve wordt gekenmerkt door een maximum niveau. Irreversibele sorptie wordt in het model doorgaans beschreven met een 3 parallele "sorptie-pools". In de steady-state situatie zou de hoeveelheid geadsorbeerd in elk van de pools te beschrijven zijn met een Freundlich-vergelijking. Iedere sorptie-pool wordt gekenmerkt door een eigen snelheidsconstante voor adsorptie en desorptie en coëfficiënten voor de Freundlich-vergelijking.

28

worden opgenomen met de transpiratiestroom. Indien de behoefte van de plant groter is dan alleen met de waterstroom zou worden opgenomen vindt actieve opname plaats. Als door stikstofgebrek de opname achterblijft bij de potentiële opname wordt ook de opname van fosfaat gereduceerd.

Evenals bij stikstof wordt in de module waarin biomassagroei wordt berekend voor de bovengrondse en de ondergrondse biomassa en minimum en maximumgehalte van fosfor gedefinieerd. Deze minimum- en maximumwaarden zijn in het STONE-model ingevoerd op basis van gegevens van grasland, maar zouden nader te specificeren zijn voor natuurlijke vegetaties.

2.3.2 Schematisering in relatie tot landgebruikverandering

Voor een landsdekkende toepassing van STONE is er een ruimtelijke schematisatie uitgewerkt die bestaat uit 6405 unieke rekeneenheden (kortweg Stone-plot; Kroon et al., (2001)). Het betreft eenheden bestaande uit meerdere gridcellen van $250 \times 250 \text{ m}^2$ met gelijke bodem, gt, vegetatie en belasting. De grootte van een plot varieert van 70 tot 10000 ha, met een gemiddelde van 400 ha. Qua landgebruik maakt STONE onderscheid in (productie)grasland, maïs, overig bouwland en natuur. De natuur-plots worden standaard met STONE doorgerekend onder de aanname dat het onbemest grasland betreft. Voor natuur wordt een ANIMO-module gebruikt waarin biomassagroei afhankelijk is van straling, relatieve transpiratie en nutriënten.

SMART2SUMO maakt gebruik van individuele 250 m cellen waaraan een bodem, GT en vegetatie combinatie is toegekend, onder andere op basis van verrastering en aggregatie van de 1:50 000 bodemkaart, EHS kaart en het LGN3. Dit resulteerde in ca. 30 000 cellen met 'natuur' waarvoor berekeningen worden uitgevoerd.

Om SMART2SUMO geschikt te maken voor landgebruiksveranderingen is voor landbouwgrond en voor het gedrag en parameterisatie van fosfor aangesloten bij STONE. Zo wordt in SMART2SUMO de hoeveelheid humus (kg m^{-2}) berekend uit het organischestofgehalte in landbouwgrond (afkomstig uit STONE). De C/N-ratio van de humuspool komt uit STONE. De stikstofimmobilisatie loopt via de C/N-ratio in de organische stof (Kros, 2002). In Tabel 1 staan de nieuwe invoervariabelen die nodig zijn wanneer omzetting van landbouw naar natuur meegenomen wordt.

Tabel 1 Nieuwe variabelen in de database voor SMART2SUMO.

Variabele	Omschrijving	Eenheid	Herkomst
$agri$	vlag voor wel of geen landbouw	-	landgebruikskaart
fbc_i	basenverzadiging landbouwgronden	-	BIS
Am_{hu}	hoeveelheid humus	kg m^{-2}	berekenen uit org. stofgehalte uit STONE, komt in database
$ctnit_{hu}$	N-gehalte in humus	%	STONE, komt in database
ctP_{hu}	P-gehalte in humus	%	STONE, komt in database
fmi_{it}	fractie van oud strooisel dat naar humus gaat	-	database (waarde staat generiek op 0.1)
kmi_{hu}	mineralisatieconstante humus	j^{-1}	database (waarde gelijk aan kmi_{it})
kmi_{dw}	mineralisatieconstante dood hout	j^{-1}	database (waarde gelijk aan $0.1 \times kmi_{it}$)

Voor de landgebruikverandering zijn voor SMART2SUMO drie nieuwe landgebruikstypen toegevoegd die nodig zijn voor de initialisatie van voormalige landbouwgronden. Deze

landgebruikstypen komen overeen met de landgebruiksindeling van STONE: maïs, bouwland en grasland.

In STONE is de landgebruiksverandering gesimuleerd door voor landbouwplots het landbouwkundig gebruik tot en met 2000 te simuleren. In de periode 1941 t/m 2000 krijgen de landbouwplots dierlijke mest en kunstmest en wordt de gewasopname berekend met het QUADMOT-model. Vanaf 2001 krijgen de plots geen mest meer en wordt de plantopname berekend door de eerder genoemde biomassa-productie module in ANIMO. Dit omdat het QUADMOT-model niet geschikt is voor simulaties voor zonder mestgift. Omwille van de eenvoud zijn de hydrologie en de bodemparameters niet gewijzigd ten opzichte van de situatie volgens normale landbouwpraktijk te behandelen. De opzet van het model laat echter wel vrijheid om de hydrologie (interceptieverdamping) en de bodemparameters (pH van de bodem) aan te passen aan de transitie naar natuur.

De aansluiting van SMART2 bij STONE is op twee plaatsen terug te vinden. Ten eerste sluit de procesformulering volledig aan, echter met één belangrijk verschil dat in STONE de bodem in meerdere compartimenten verdeeld is terwijl in SMART2 de bodem uit één laag bestaat.

Op de tweede plaats sluit SMART2 aan bij STONE doordat uitvoer van STONE gebruikt wordt als invoer voor SMART2. Zo kunnen uit STONE jaarlijkse waterbalansen, de start hoeveelheid geadsorbeerd fosfaat en de AIfE-voorraad uitgevoerd worden voor verschillende diepten. Voor de aansluiting met SMART2 is hiervoor uitvoer van het jaar 2000 gebruikt voor 3 verschillende dieptes: 0-30 cm, 0-60 cm en 0-100 cm. Dit zijn dieptes waarmee met SMART2SUMO vaak gerekend wordt, aangezien op die dieptes vaak bodemvochtgehalten gemeten worden. De resultaten van berekeningen voor heel Nederland zijn gebruikt om organischestofgehalte, N-gehalte en P-gehalte in de organische stof te bepalen. Daartoe zijn deze drie variabelen geclusterd per SMART2-bodem en landgebruikstype van voormalige landbouwgronden (maïs (MAI), bouwland (ARA) en grasland (GRL)) waarna de mediaan van het organischestofgehalte, het N-gehalte en het P-gehalte hierin per klasse is bepaald. In STONE wordt gerekend met een vast percentage (58%) voor het C-gehalte. Voor de hoeveelheid geadsorbeerd P zijn de resultaten uit STONE gebruikt, maar dan niet geclassificeerd per bodemtype maar als ruimtelijk bestand. Dit is gedaan omdat de P-verzadigingsgraad van de bodem onder andere sterk afhankelijk is van de bemesting in het verleden en die kan regionaal nogal verschillen. De AIfE-voorraad in de bodem wordt gebruikt om de adsorptiecapaciteit te bepalen. Het Al- en Fe-oxalaatgehalte zijn afkomstig van het Bodemkundig Informatie Systeem en volgens de STONE-schematisatie ruimtelijk verdeeld (zie Kroon et al., 2001). Deze ruimtelijke verdeling die, voor STONE exact hetzelfde is, is gebruikt als invoer voor SMART2SUMO.

2.3.3 Modeluitgangen

De belangrijkste uitvoer voor het bodemcompartiment van SMART2SUMO is de beschikbaarheid van N en P in de wortelzone. De dikte van de wortelzone is afhankelijk van de combinatie van bodemtype, vegetatie en grondwaterstand. Omwille van onderlinge vergelijkbaarheid is echter gekozen voor een standaard laagdikte van 0-30 cm. Daarnaast wordt ook de gemiddelde pH in deze laag berekend. De belangrijkste uitvoer voor het vegetatiecompartiment betreft de bovengrondse- en ondergrondse biomassa-productie in termen van C, N en P, en de vegetatiestructuur in termen van de vijf functionele lagen.

De belangrijkste STONE-uitvoer betreft de N- en P-uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater, N-verliezen in de bodem, de P-accumulatie in de bodem en de gewasafvoer in termen van organischestof (C), N en P.

3 Proefberekeningen met SMART2SUMO en STONE-ANIMO voor het veenweidegebied

3.1 Modeltoepassing

Voor het vergelijken van de N- en P- beschikbaarheid, biomassaproductie en uit- en afspoeling zoals die berekend worden met de modellen STONE-ANIMO en SMART2SUMO, zijn beide modellen toegepast voor een aantal graslandsystemen in het veenweidegebied waar het reguliere agrarisch gebruik is gestopt. Met beide modellen zijn berekeningen uitgevoerd voor relevante combinaties van bodem, GT en bemestingsniveaus. Om de effecten van landgebruikveranderingen met STONE te kunnen uitvoeren, is de bemesting voor regulier grasland op nul gezet terwijl de overige parameters gelijk werden gehouden. Hierbij is gebruik gemaakt van de biomassa-productie module van ANIMO en niet de empirische groei-module QUADMOD (zie paragraaf 2.3.2), hierna aangeduid met STONE-ANIMO. Voor SMART2SUMO is gebruik gemaakt van een aangepaste versie van SMART2 versie 2.0 en SUMO versie 3.0 (versie van november 2004). Hierbij is de P procesformulering aangepast zodat er geen desorptie vanuit het Freundlich-gebonden (zie paragraaf 2.3.1) fosfaat kan plaatsvinden. Dit omdat er sprake was van een te hoge desorptieflux en dat deze zogenaamde langzaam sorberende pool als 'irreversibel' kan worden beschouwd voor de beoogde simulatieperiode. Voor de zeer lange termijn en voor wat betreft de beschikbaarheid voor de vegetatie is dit echter onwaarschijnlijk, zie bijv. Koopmans et al. (2004).

Selectie van locaties

Voor de door te rekenen combinaties is uitgegaan van de 20 door Wamelink & Van Dobben (2004), geselecteerde punten in het Groene Hart (10) en in Friesland (10). Het betreffen zowel klei, zand als veenbodems. Er is getracht zoveel mogelijk hierbij aan te sluiten door de corresponderende Stone-plots te vinden die zoveel mogelijk overeen kwamen met deze punten. Het selecteren van corresponderende Stone-plots is relevant omdat dit het niveau is waarop modelinvoer voor STONE-ANIMO beschikbaar is. De selectieprocedure is als volgt uitgevoerd:

1. Selectie van alle Stone-plots in Friesland en Zuid-Holland met de Smart Gt-klassen 2 (GT II) en 3 (GTII*, III, III*, V, V*) met bodem CC, CM, PH, PL, PN, PS, SR en begroeiing onbemest grasland.
2. Binnen deze selectie zijn de plots gekozen waarvan de kwelflux het dichtst bij die van de door Wamelink & Van Dobben (2004) gebruikte plots lag.
3. In geval het bodemtype van de geselecteerde Stone-plot (erg) afwijkt van het bodemtype volgens de Smart bodemkaart, is de het bodemtype van de Stone plot aangepast (zie Tabel 2).
4. Voor SMART2SUMO zijn de initiële condities (voor het startjaar 2000) voor de P sorptie, zoals $(Al+Fe)_{ox}$ en de P_{ox} gehalten, van de corresponderende STONE-plots gebruikt. Waarbij de P_{ox} gehalten de waarden betreffen zoals ze voor het jaar 1995 door STONE zijn berekend.
5. SMART2SUMO en STONE-ANIMO zijn vervolgens voor de betreffende plots (dus met corresponderende invoer) doorgerekend.

De uiteindelijk doorgerekende SMART2SUMO cellen/STONE-plots zijn samen met enkele karakteristieken weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Gegevens van de doorgerekende Stone-plots

Xcoord	Ycoord	STONEPlotnr ¹⁾	SMART2SUMO Bodemcode ²⁾	Bodem ³⁾	STONE-plot bodemcode ¹⁾		Gt	Kwel (mm dag ⁻¹) ⁻⁶⁾		Klasse ⁷⁾
					Plot ⁴⁾	Toegekend ⁵⁾		SMART2SUMO	Stone	
Zuid-Holland										
190500	575500	310	PH	kVz	31213	41312	2	-	-	1
201000	573750	441	PS	hVz	91232	21212	2	-0.03	-	2
201000	579250	407	SR	Hn23x	111131		3	-0.44	-0.52	1
211250	580500	477	CM	Mv41C	171232	181232	3	-	-0.18	2
211250	581000	608	CM	Mv41C	181232		2	-1.85	-1.68	2
188750	558500	748	PL	hVc	11213		2	-	-	0
198500	561500	584	PL	hVc	21122	11213	2	-1.00	-0.97	2
198500	561750	344	PL	pVb	31213		2	-	-	2
Friesland										
111500	458750	2882	PH	pVb	31213		2	-	-	1
112250	459000	3981	CM	Mv41C	181231		2	-	-	-
125000	468500	3328	PL	ohVb	11212		2	-	-	0
111750	423000	3160	CC	Rd90A	161132		3	-	-	1
111750	423250	3032	CC	Rd90A	161132		3	-0.10	-	1
110750	439750	3659	PL	hVc	11213		2	-	-	0
128000	440000	4315	PH	pVb	31213		2	-	-	1

¹⁾ Betreft de coderingen zoals gehanteerd binnen STONE

²⁾ Betreft de coderingen zoals gehanteerd in SMART2SUMO

³⁾ Codering 1:50 000 bodemkaart van Nederland

⁴⁾ Bodemcode zoals binnen STONE is toegekend aan de Stone-plot

⁵⁾ Gewijzigde STONE bodemcode ingeval van afwijking met SMART2SUMO

⁶⁾ Betreft netto kwel voor het gehele profiel. ‘-’ betekent geen kwel voor betreffende plot/cel en model

⁷⁾ Geeft kwelkwaliteit weer binnen SMART2SUMO: 0: regenwater; 1: 50% grondwater+ 50% regenwater, 2: 100% grondwater, ‘-’: onbekend.

Model uitvoer

De simulaties betreffen de omzetting van bemest grasland naar onbemest grasland waarbij gekeken is naar:

- N-beschikbaarheid: N-depositie + N-bemesting + N (bruto) mineralisatie + N-fixatie
- P-beschikbaarheid: P-bemesting + P (bruto) mineralisatie + P-desorptie
- De bovengrondse biomassa productie in termen van (C) N en P.
- De N- en P-drainage (lateraal+ verticaal) vanuit de bovengrond
- De N- en P- bodemvochtconcentraties in de bovenste 30 cm.

Simulatieperiode: De simulaties zijn gestart in 2000, waarbij we direct stoppen met bemesten en gaan door tot 2030. Om het effect van variatie in meteorologie op de modelresultaten uit te middelen, is het gemiddelde berekend over de periode 2025-2030. Voor STONE-ANIMO betekent dit gemiddeldes van decade waarden die eerst zijn omgerekend naar fluxgewogen jaargemiddelde concentraties, waarna vervolgens het gemiddelde over de jaren is bepaald. Voor SMART2SUMO, dat uitvoer levert op jaarbasis, zijn de waarden op jaarbasis rekenkundig gemiddeld.

Laagdikte: Er is gekozen voor een laagdikte van 30 cm omdat in deze toplaag het belangrijkste deel van de nutriëntencyclus (mineralisatie, (de)nitrificatie en opname) plaats vindt. Feitelijk betekent dit dat er voor SMART2SUMO de standaard uitvoer voor de laag van 0-30 cm is gebruikt. Voor STONE-ANIMO is daarentegen het gemiddelde voor de laag 0-35 cm genomen. Dit omdat STONE-ANIMO gebruikt maakt van een standaard laagindeling. Het gemiddelde van de door STONE-ANIMO gehanteerde bodemlaagindeling is bepaald door voor de bovenste 5 lagen (0-5, 5-15, 15-20, 20-25, 25-35 cm) per laag de jaarlijkse flux gewogen gemiddelde concentratie te berekenen uit de decade cijfers

Scenario

Voor beide modellen is er uitgegaan van een regulier agrarisch grasland. In het geval van STONE-ANIMO is voor de initialisatie van het landbouwsysteem voor de periode tot 2001 het reguliere STONE model gedraaid. Vanaf 2001 is vervolgens verder gerekend zonder bemesting. Hiervoor is gebruik gemaakt van het model ANIMO, de bodem- en nutriëntenuitspoelingsmodule van STONE (zie paragraaf 2.1). De overgang van STONE naar ANIMO maakte het mogelijk om vrij eenvoudig de bemesting op nul te zetten. Vanaf 2001 bestaat de enige N invoer van buiten het systeem uit atmosferische depositie. Dit overgang van STONE naar ANIMO heeft met name tot gevolg dat voor de landbouwperiode met de gewasmodule QUADMOD (zie paragraaf 2.1) is gerekend en tijdens de onbemeste periode met de plantopname module voor onbemeste graslanden van ANIMO.

In het geval van SMART2SUMO is voor het nabootsen van de landbouwhistorie gestart met de landbouwparameterisatie van de relevante toestandsvariabelen (zie Wamelink et al., 2003). Het gaat hierbij om het organisch stofgehalte, de CN ratio en de basenverzadiging.

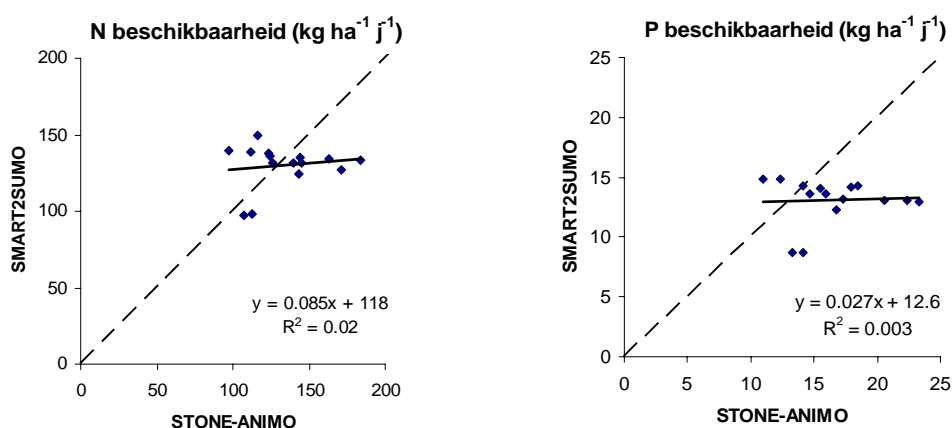
Voor N-depositie is gebruik gemaakt van het A scenario (EC) uit de MV5. In STONE, dat geen onderscheid maakt tussen droge en natte depositie, is de totale depositie in de vorm van droge depositie toegevoerd. Waarbij de STONE-ANIMO invoer exact gelijk gemaakt aan die van SMART2SUMO. Het gehanteerde beheer betrof één maal per jaar maaien en vervolgens afvoeren van de gemaaide biomassa, waardoor de nutriënten uit het systeem worden verwijderd.

Tabel 3 Gebruikte stikstofdepositie ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) per doorgerekende Stone-plot voor de jaren 1995, 2010 en 2030

Plotnr	N depositie ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$)		
	N_1995	N_2010	N_2030
Zuid-Holland			
310	26	23	21
441	28	24	22
407	29	25	23
477	29	26	23
608	29	26	23
748	25	22	19
584	29	25	22
344	29	25	22
Friesland			
2882	31	27	24
3981	31	27	24
3328	35	29	26
3160	26	21	20
3032	26	21	20
3659	32	28	25
4315	35	30	27

3.2 Resultaten

In eerste instantie is gekeken naar de overeenkomst tussen de met SMART2SUMO en STONE-ANIMO berekende N en P beschikbaarheid (Figuur 4). De resultaten van beide modellen zijn met elkaar vergeleken door ze in een X-Y-plot tegen elkaar uit te zetten. De N- en P-beschikbaarheid betreffen, naast vocht en zuurgraad, in relatie tot biodiversiteit de meest cruciale modeluitgangen binnen de Natuurplanner (Alkemade et al., 1998).



Figuur 4 N- (links) en P (rechts) beschikbaarheid in de wortelzone berekend met STONE-ANIMO en SMART2SUMO (gebroken lijn: 1:1; doorgetrokken lijn: lineaire regressie)

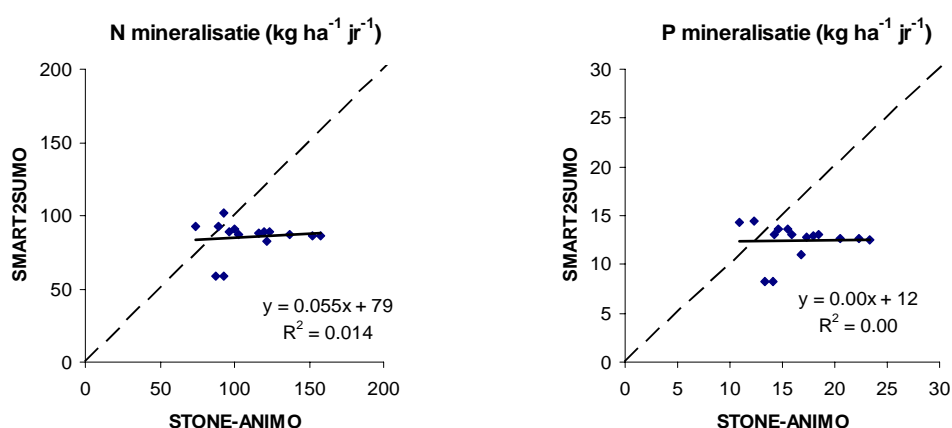
Uit Figuur 4 blijkt dat SMART2SUMO gemiddeld vergelijkbare N-beschikbaarheden en enigszins lagere P-beschikbaarheden berekent dan STONE-ANIMO. De gemiddelde N-beschikbaarheid van SMART2SUMO (130 kg N) ligt iets lager dan die van STONE-ANIMO (134 kg N) en de P beschikbaarheid van SMART2SUMO (13 kg P) 4 kg ha⁻¹ lager dan die van STONE-ANIMO (17 kg P) (Tabel 4)

SMART2SUMO blijkt een beduidend geringere spreiding te berekenen dan STONE-ANIMO. Het merendeel van de door SMART2SUMO berekende beschikbaarheden liggen voor N rond de 130 kg N en voor P rond de 15 kg P, terwijl die van STONE-ANIMO varieert tussen de 100 en 200 kg N voor de N-beschikbaarheid en tussen de 10 en 24 kg P voor de P-beschikbaarheid.

De N-beschikbaarheden van rond de 130 kg N, zoals berekend door beide modellen ligt lager dan de waarde gevonden door Olf et al. (1994) in een grasland chronosequentie in een Drents beekdal (beeekeerdgronden). Deze proeflokaties zijn bemonsterd 20 jaar nadat de bemesting beëindigd was. De N-beschikbaarheid van 200 kg N bestaat uit 140 kg mineralisatie en 60 kg depositie, waarbij de depositie een schatting is voor het jaar 1990. De N-depositie bedraagt in onze berekeningen 20 tot 25 kg ha⁻¹. Een ander verschil is de grondwaterstand. In de proeflocaties van Olf et al. (1994) is de grondwaterstand dieper dan in de door hier beschouwde plots met Gt II en III.

Omdat de berekende P-beschikbaarheid in beide modellen voor 95-100% bestaat uit mineralisatie (vergelijk Figuur 4 en Figuur 5) zijn P-mineralisatiegegevens bruikbaar ter toetsing van de P-beschikbaarheid. Olf *et al.* hebben echter geen P-mineralisatie berekend, maar deze is af te leiden van de gemeten N-mineralisatie door er vanuit te gaan dat N en P in dezelfde verhouding mineraliseren. Uitgaande van een N-mineralisatie van 140 kg N en de gemeten N/P van de bodempool (8.3) resulteert dit in een P-mineralisatie van 17 kg P. Dit is gelijk aan de P-beschikbaarheid van 17 kg ha⁻¹ P berekend door STONE-ANIMO. SMART2SUMO berekent een P-beschikbaarheid van 13 kg ha⁻¹ P en ligt daarmee lager dan de waarde die globaal is af te leiden uit Olf et al.,(1994).

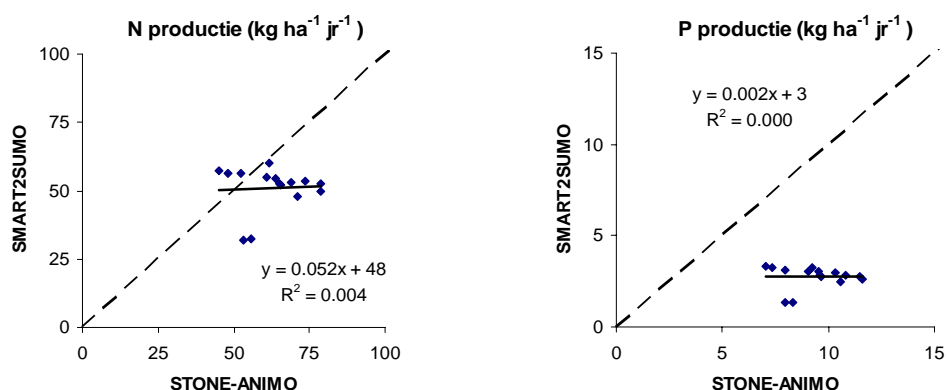
Wanneer naar de mineralisatie alleen (= beschikbaarheid minus depositie) wordt gekeken (Figuur 5) is te constateren dat de N-mineralisatie van SMART2SUMO (85 kg ha⁻¹ jr⁻¹) afwijkt van die van STONE-ANIMO (111 kg ha⁻¹ jr⁻¹); zie Tabel 4).



Figuur 5 N- (links) en P (rechts) mineralisatie in de wortelzone berekend met STONE-ANIMO en SMART2SUMO (gebroken lijn: 1:1; doorgetrokken lijn: lineaire regressie)

Het verschil in N-mineralisatie is groter dan het verschil in N-beschikbaarheid. Dit komt omdat SMART2SUMO N-fixatie veronderstelt, welke een onderdeel vormt van de N-beschikbaarheid, en STONE-ANIMO niet. Deze N-fixatie bedraagt gemiddeld 50 kg N ha⁻¹ jr⁻¹, wat bij de N-beschikbaarheid wordt opgeteld. In hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan.

Wanneer we naar de N- en P-productie kijken (Figuur 6), dan blijkt dat de N-productie van SMART2SUMO redelijk overeen komt met die van STONE-ANIMO (geen significant verschil zie Tabel 4). De P-productie daarentegen blijft behoorlijk achter bij die van STONE-ANIMO (gemiddeld 9 ten opzichte van 3 kg P). Opmerkelijk zijn de twee uitbijters met lage N- en P-productie voor SMART2SUMO (Figuur 6). Voor deze punten geldt dat er in SMART2SUMO sprake is van extreme P-limitatie, doordat SMART2SUMO voor deze punten een relatief lage P beschikbaarheid (zie Figuur 4) berekent. In de hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan.



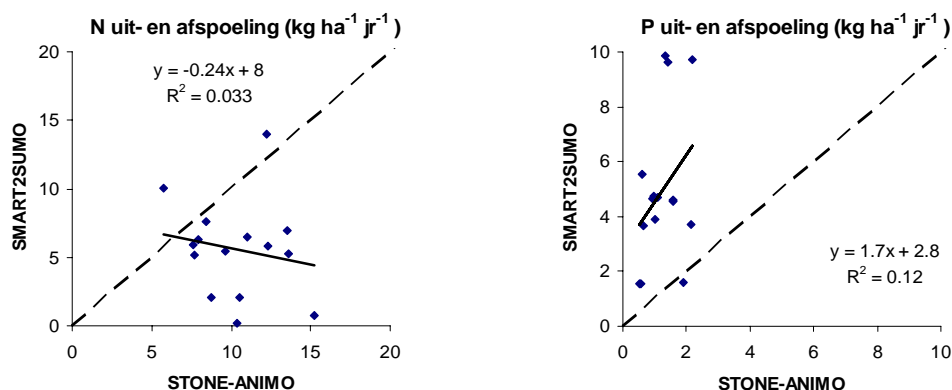
Figuur 6 N- (rechts) en P (links) netto opname door bovengrondse biomassa (productie) berekend met STONE-ANIMO en SMART2SUMO (gebroken lijn: 1:1; doorgetrokken lijn: lineaire regressie)

Net als bij de beschikbaarheid en mineralisatie is de spreiding voor SMART2SUMO beduidend lager dan voor STONE-ANIMO. Opmerkelijk is echter wel dat wanneer er simulaties met SMART2SUMO worden uitgevoerd met een kunstmatig verhoogde P-beschikbaarheid, de spreiding in SMART2SUMO resultaten juist hoger uitkomt dan die van STONE-ANIMO. Mogelijke speelt ook de wijze waarop de co-limitatie van N en P in SMART2SUMO is gemodelleerd een rol.

Een gemiddelde N-gewasafvoer van 51 en 63 kg N (Tabel 4) zoals berekend door respectievelijk SMART2SUMO en STONE-ANIMO is laag vergeleken met data van (Olff et al., 1994), die een productie ('Offtake by cutting') heeft gemeten van ca. 90 kg N (variërend van 72 tot 106) in een chronosequentie waarin 2, 6, 19 en 45 jaar niet meer bemest is. De N-productie zoals berekend met beide modellen valt echter nog lager uit dan waarden genoemd in Van Kekem (2004). Op basis van een literatuuronderzoek naar het stikstofleverend vermogen (NLV) van veengronden, de hoeveelheid N die met het gras wordt geoogst in het eerste jaar nadat de bemesting is beëindigd, rapporteert (Van Kekem, 2004) een range van 225-250 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (een factor vier hoger). Opgemerkt dient te worden dat het NLV betrekking heeft op de situatie nadat er één jaar niet bemest is.

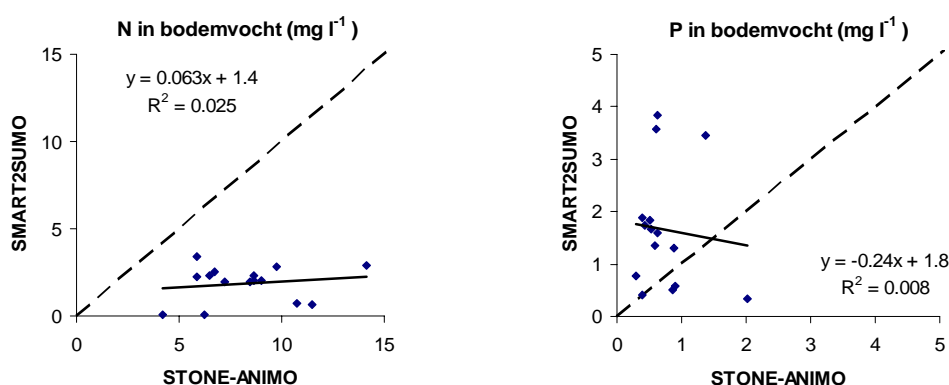
SMART2SUMO berekent ook een duidelijk lagere N-belasting van het grond- en oppervlaktewater (als som van uit- en afspoeling) (Figuur 7). Met uitzondering van twee locaties is de N-afvoer naar het grond- en oppervlaktewater van STONE-ANIMO altijd hoger.

Gemiddeld berekent STONE-ANIMO een twee keer zo hoge N-afvoer naar het grond-oppervlaktewater dan SMART2SUMO. De lagere N-afvoer naar het grond- en oppervlaktewater van SMART2SUMO is met name het gevolg van de lagere N mineralisatie (gemiddeld 92 kg N lager). Dit effect compenseert ruimschoots de enigszins lagere N gewasafvoer (gemiddeld 12 kg N lager) en extra toevoer als gevolg van N-fixatie (gemiddeld 50 kg N). In tegenstelling tot stikstof berekent SMART2SUMO voor P juist een afvoer naar het grond- en oppervlaktewater beduidend hoger is (Figuur 7) dan die van STONE-ANIMO. De oorzaak hiervan moet met name gezocht worden in een veel lagere gewasopname in SMART2SUMO. De verschillen in P-sorptie (zie vergelijking (3)) in beide modellen is namelijk marginaal.



Figuur 7 De N- (rechts) en P-belasting (links) van grond- en oppervlaktewater zoals berekend met STONE-ANIMO en SMART2SUMO (gebroken lijn: 1:1; doorgetrokken lijn: lineaire regressie)

De lage N en hoge P afvoer naar het grond- en oppervlaktewater van SMART2SUMO vindt zijn oorspong in de gemodelleerde concentraties, zie Figuur 8. SMART2SUMO berekent voor bijna alle locaties lagere N concentraties. De hoge P uitspoeling van SMART2SUMO komt ook duidelijk tot uiting in de P concentraties. SMART2SUMO berekent altijd hogere concentraties dan STONE-ANIMO. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in de parameterisatie en de modellering van de opname (zie hoofdstuk 4).



Figuur 8 De N- (rechts) en P-concentraties (links) in het bodemvocht van de wortelzone zoals berekend met STONE-ANIMO en SMART2SUMO (gebroken lijn: 1:1; doorgetrokken lijn: lineaire regressie)

Uit Tabel 4 blijkt dat er statistisch gezien sprake is van aantoonbare verschillen voor vrijwel alle beschouwde uitgangen. De enige uitgangen waarbij sprake is van niet aantoonbare verschillen betreffen de N-productie en de N-afvoer naar het grond- en oppervlaktewater.

Tabel 4 Statistische vergelijking van de bestudeerde modeluitgangen van STONE-ANIMO (STA) en SMART2SUMO (SMS) aan de hand van het gemiddelde, de standaardafwijking (SA), de variatie coëfficiënt (VC; gemiddelde/SA), genormaliseerde gemiddelde afwijking (NMAE), overschrijdingskans (p) en de mate van significantie van de verschillen (Sign.)

Modeluitgang	Model	G	SA	VC	NMAE ¹⁾	p ²⁾	Sign. ³⁾
N beschikbaar (kg ha ⁻¹)	STA	134	25	0.19	0.16	0.048	*
	SMS	130	14	0.11			
P beschikbaar (kg ha ⁻¹)	STA	17	4	0.22	0.26	0.025	*
	SMS	13	2	0.15			
N mineralisatie (kg ha ⁻¹)	STA	111	24	0.22	0.27	0.008	**
	SMS	85	12	0.14			
P mineralisatie (kg ha ⁻¹)	STA	17	4	0.22	0.29	0.022	*
	SMS	12	2	0.15			
N productie ((kg ha ⁻¹)	STA	63	10	0.17	0.24	0.370	n.s.
	SMS	51	8	0.16			
P productie (kg ha ⁻¹)	STA	9	1	0.15	0.71	0.003	**
	SMS	3	1	0.22			
N afvoer naar grond en opp.water (kg ha ⁻¹)	STA	10	3	0	1	0.304	n.s.
	SMS	6	4	1			
P afvoer naar grond- en opp.water (kg/ha)	STA	1	1	0	3	0.000	***
	SMS	5	3	1			
Ntot (mg l ⁻¹)	STA	8	3	0.31	0.77	0.001	**
	SMS	2	1	0.55			
Ptot (mg l ⁻¹)	STA	1	0	0.61	1.67	0.001	**
	SMS	2	1	0.69			

¹⁾ Normalised Mean Average Error = $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |STA_i - SMS_i|$, met STA = STONE-ANIMO uitkomst en SMS = SMART2SUMO uitkomst.

²⁾ Overschrijdingskans: p < 0.1 is aanwijzing dat er een verschil is; p < 0.05: verschillen zijn significant

³⁾ n.s.: geen significant verschil; ~ : aanwijzing voor verschil; *: significant verschil; **: sterk significant verschil; ***: zeer sterk significant verschil

4 Discussie

In dit hoofdstuk worden de meest in het oog springende verschillen tussen de uitkomsten van beide modellen bediscussieerd. In paragraaf 4.1 wordt aan de hand van de procesbeschrijving van hoofdstuk 2 ingegaan op de mogelijkheden en beperkingen van de beide modellen voor effectschattingen van de transitie landbouw naar natuur. In paragraaf 4.2 worden de simulatieresultaten uit hoofdstuk bediscussieerd. Daar waar mogelijk wordt dit ook gezien in het licht van metingen. Allereerst wordt stilgestaan bij de N en P beschikbaarheid, vervolgens wordt ingegaan op de N- en P-afvoer naar het grond- en oppervlaktewater en concentraties, ten slotte komen nog een aantal andere zaken betreffende de modelstructuur aan de orde.

4.1 Mogelijkheden en beperkingen op grond van de procesbeschrijvingen

Op grond van de procesbeschrijvingen kunnen voor beide modelsystemen mogelijkheden en beperkingen worden aangegeven voor scenario's waarin ten behoeve van natuurontwikkeling inrichtings- en beheersmaatregelen worden getroffen en waarbij tegelijkertijd de gevolgen voor de milieukwaliteit worden geëvalueerd. Hieronder wordt per model aangegeven wat de mogelijkheden en onmogelijkheden zijn aangaande de evaluatie van de volgende type inrichtings- en beheersmaatregelen:

- Extensiveren van landbouw; afsluiten van beheersovereenkomsten.
- Stopzetten bemesting; uit productie nemen van landbouwgrond.
- Actief verschrallen door maaien en begrazen.
- Afgraven van nutriëntenrijke bovenlaag.
- Vernatting door dempen van greppels en kavelsloten.
- Vernatting door actief (seizoens) peilbeheer.

SMART2SUMO

SMART2SUMO heeft een afzonderlijke modelinvoer voor N en P bemesting. Het is mogelijk bemesting te specificeren door jaarlijks een bepaalde hoeveelheid stikstof bij de N-beschikbaarheid op te tellen. De P-bemesting wordt berekend met een vaste verhouding met N-bemesting (1 kg P: 5 kg N). Voor de toepassing van aanzienlijke hoeveelheden dierlijke mest waarin ca. 25% van de stikstof gebonden is in zogenaamde residuaire stikstof (Nr) is deze methode minder geschikt. In de ge-extensiveerde rundveehouderij en voor gronden waarvoor beheers-overeenkomsten gelden wordt met name eerst de bemesting met kunstmest stopgezet en vindt nog enige bemesting plaats met bedrijfs-eigen dierlijke mest.

SMART2SUMO heeft de mogelijkheid om maai- en graasbeheer mee te nemen. Dit dient te worden opgegeven via SUMO. In deze modelvergelijking is een maai-beheer van een keer per jaar aangehouden. In deze toepassing wordt niet begraasd.

Afgraven van de nutriëntenrijke bovenlaag is een dermate drastische ingreep in het bodem-ecosysteem dat modellen daar moeilijk mee overweg kunnen als ingreep tijdens een simulatieperiode. Voor SMART2SUMO zou men kunnen denken aan een aanpassing van de bodemlaag-schematisering voor de start van een simulatie-run.

Vernatting door dempen van greppels en kavelsloten heeft gevolgen voor dynamiek van de grondwaterstanden, de kwel en de diepte in de bodem waardoor het neerslagoverschot wordt

afgevoerd. In SMART2SUMO wordt een kwel/wegzijgingsflux opgelegd aan de onderzijde van de bodemlaag waar SMART2SUMO voor rekent. Met een gedetailleerd model zoals SWAP of een regionaal grondwaterstromingsmodel is het mogelijk kwelfluxen aan de onderzijde van de wortelzone te berekenen en deze aan SMART2SUMO op te leggen. Effecten van een wijziging in de verfijnde dynamiek van de grondwaterstanden zijn gezien de rekentijdstap van een jaar slechts zeer globaal te berekenen.

Voor de simulatie van effecten van vernatting door actief peilbeheer is het SMART2SUMO te grof. De grondwaterstandsdynamiek kan zich dusdanig wijzigen dat de effecten nauwelijks of versterkt zichtbaar worden in een GVG en een jaargemiddelde kwelwegzijging aan de onderkant van de wortelzone.

STONE-ANIMO

STONE-ANIMO kan heeft uiteraard de mogelijkheid om de bemesting aan te passen en zelfs tot nul te reduceren. De parametrisatie van biomassa-productiemodule in ANIMO is gebaseerd op landbouwkundig gebruikt grasland. Voor inzet in natuurontwikkelings-vraagstukken, gericht op graslanden, zouden de parameters van deze module (modelinvoer) aangepast moeten worden. Het knelpunt bij STONE-ANIMO is met name het ontbreken van de simulatie van een volledige vegetatie successie, zoals bosontwikkeling. Daarnaast wordt in tegenstelling tot SMART2SUMO geen rekening gehouden met veranderingen in de zuurgraad (pH). Als gevolg van natuurontwikkeling zal de pH in de meeste gevallen dalen, onder andere als gevolg van het stoppen met bekalken. Hetgeen gevolgen heeft voor de N-beschikbaarheid, via pH-effecten op mineralisatie en (de)nitrificatie.

Het maaibeheer in STONE-ANIMO maaien verloopt nu automatisch bij overschrijden van drempelwaarde bovengrondse biomassa, om zelf maaitijdstippen te specificeren zou het model enigszins aangepast moeten worden.

Net als bij SMART2SUMO is het afgraven van de nutriëntenrijke bovenlaag niet mogelijk. Ook voor STONE-ANIMO geldt dat dit eventueel te realiseren is, maar vraagt aanpassing van de modelstructuur, via een herstart van de simulatie na aanpassing van de bodemlaag-schematisering.

STONE-ANIMO is mede ontwikkeld om effecten van gewijzigde hydrologie op nutriënten dynamiek in beeld te brengen. Effecten van hydrologische ingrepen zoals dempen van greppels en vernatting door actief peilbeheer kunnen zondermeer geëvalueerd worden. Daarnaast is STONE-ANIMO geschikt voor het in beeld brengen van de N- en P-belasting van oppervlaktewater in gebieden waarin de achtergrondbelasting (kwel en mineralisatie van nutriëntrijke sedimenten) een duidelijke invloed heeft is. In de natte veengebieden waarvoor in deze studie rekenruns zijn uitgevoerd levert de achtergrondbelasting veelal een significatie bijdrage aan de eutrofiering.

4.2 Discussie over de simulatieresultaten

N en P Beschikbaarheid en mineralisatie

Een belangrijk verschil tussen beide modellen is dat STONE-ANIMO wel en SMART2SUMO geen rekening met nalevering van N en P via mineralisatie van het moedermateriaal. In SMART2SUMO mineraliseert alleen het de via gewasresten geaccumuleerde hoeveelheid organische stof. Dit verklaart voor een groot gedeelte het verschil in N- en P-mineralisatie en daarmee de beschikbaarheid. Daarentegen houdt SMART2SUMO wel en STONE-ANIMO geen rekening met N-fixatie.

Voor voormalige landbouwgronden op veen is de N-voorraad in de bodem veel groter dan voor minerale gronden doordat organische N in veengronden niet alleen afkomstig is van recente landbouwkundige activiteiten, maar ook bestanddeel is van de oude organische stof die in de loop der eeuwen door de speciale omstandigheden op deze locaties is geaccumuleerd. Na ontwatering en ontginning van veengronden is de N-mineralisatie dan ook veel hoger dan er via de nutriëntencyclus wordt rondgepompt (Van Kekem, 2004). De mate van deze extra mineralisatie is sterk afhankelijk van de grondwaterstand. Het is dan ook aan te bevelen om het model SMART2SUMO op deze aspecten aan te passen.

Het wordt algemeen aangenomen dat er in graslanden op veengronden sprake is van N-fixatie. De N-fixatie in graslanden op veen kan variëren van 0-10 kg N in graslanden zonder klaver tot 100 kg N in graslanden met 30% klaver (Velthof et al., 2000). Het betrekken van N-fixatie bij de N beschikbaarheid is dus noodzakelijk. In SMART2SUMO wordt voor de doorgerekende plot een gemiddelde fixatie van ca. 50 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ berekend. De mate N-fixatie is in SMART2SUMO gekoppeld aan de productie en de N-beschikbaarheid. Zo neemt de N-fixatie toe met de productie. Daarnaast is een relatie tussen Ellenberg N en het voorkomen van stikstofbinders in de Nederlandse flora afgeleid (Smart et al., 2005). Hierdoor wordt het aandeel van de stikstofbinders bij hogere N-beschikbaarheden lager en daardoor de hoeveelheid gebonden N. In deze meer landbouwkundige situaties gaat de relatie via Ellenberg N waarschijnlijk niet op, waardoor er sprake is van een te geringe terugkoppeling. Uit de literatuur is bekend dat er een terugkoppelingsmechanisme aanwezig is, waarbij de stikstofbinders het systeem met N verrijken, maar uiteindelijk zelf daardoor weg geconcentreerd worden. Of dit een op een adequate manier geformuleerd is in SMART2SUMO, dient nader te worden onderzocht.

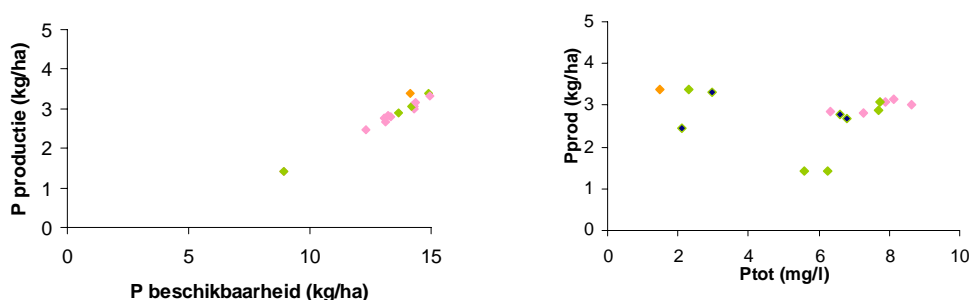
Momenteel wordt in STONE N-fixatie niet in beschouwing genomen. De opzet van het model is zodanig dat door het jaar heen gefixeerde N aan de bodem kan worden toegediend via de additiebestanden. In een toepassing van het ANIMO-model voor luzerne is al een module toegepast waarin N-binding werd berekend als functie van de bodem en de mestgift (Rijtema & Kroes, 1991). Hieruit bleek dat de gefixeerde hoeveelheden in belangrijke mate werden bepaald door bodemtype, zuurgraad, grondwaterregime en landbouwkundige voorgeschiedenis.

N en P productie

STONE-ANIMO berekent een vergelijkbare N-productie als SMART2SUMO, maar een duidelijk een hogere P productie dan SMART2SUMO. De lagere productie SMART2SUMO is zeker voor wat betreft P te laag ten opzichte van geschatte P productie cijfers uit de literatuur. Dit is reeds eerder geconstateerd, zie Wamelink et al. (2003). De berekende waarden voor de N-productie komen redelijk overeen met in de literatuur gevonden waarden.

De oorzaak van de lage productieresultaten van SMART2SUMO vinden hun oorsprong in de wijze waarop de P-limitatie is geparаметeriseerd. Voor alle locaties blijkt er namelijk sprake te zijn van P-limitatie. Het effect van de P-beschikbaarheid en productie in SMART2SUMO komt duidelijk tot uiting in Figuur 9. Een hogere P-beschikbaarheid levert altijd een hogere P-productie op, wat betekent dat er (in het model) sprake is van P-limitatie. Ondanks de P-limitatie wordt er toch een hoge P-concentratie in het bodemvocht berekend en is er geen relatie tussen de productie en de P-concentratie in het bodemvocht (Figuur 9). Dat er bij P-concentraties in het bodemvocht van meer dan 1 mg P l⁻¹ sprake lijkt te zijn van P-limitatie is zeer onwaarschijnlijk, aangezien P-concentraties in onbemeste situatie vaak ver beneden de norm van 0.15 mg P l⁻¹ (Olf et al., 1994) liggen en er vrijwel nooit sprake is van P-beperking. Het probleem hierbij is dus dat P niet opgenomen wordt, maar uitspoelt. De grens voor het optreden van P-beperking lijkt in SMART2SUMO bij een veel te hoge P-beschikbaarheid te

liggen (bij > 20 kg P). De stringente P-beperking zorgt niet alleen voor lage P-productie, maar ook voor lage N-productie. In SMART2SUMO blijkt de productie pas toe te nemen bij een P-beschikbaarheid van boven de 20 kg P. In zijn algemeenheid geldt dat de te stringente P-limitatie in SMART2SUMO de oorzaak is van een beduidend lagere spreiding in modelresultaten dan die van STONE-ANIMO. Zo resulteren simulaties uitgevoerd (niet getoond) met SMART2SUMO waarbij de P-beschikbaarheid kunstmatig is verhoogd zelfs tot SMART2SUMO resultaten waarvan de spreiding hoger is dan die van STONE-ANIMO.



Figuur 9 Relatie tussen de P-productie en de P-beschikbaarheid (rechts) en P-concentratie (Ptot) in het bodemvocht en de P productie (links) voor de met SMART2SUMO uitgevoerde berekeningen

In de hier uitgevoerde simulaties is er een belangrijk verschil tussen beide modellen in de wijze waarop N- en P-limitatie heeft doorgewerkt in de resultaten. In SMART2SUMO heeft zowel N- als P-limitatie een rol gespeeld en in STONE-ANIMO heeft alleen N-limitatie een rol gespeeld. In uitzonderlijke gevallen met geringe P-voorraden in de bodem zou ook in STONE-ANIMO P-limitatie kunnen optreden. Dat dit niet gebeurt is, is te verklaren door de hoge P-voorraden in de bodem. Omdat het betrekken van de P-voorraden in de bodem bij het vaststellen van P-limitatie tot een realistischere P-opname en P-uitspoeling leidt, verdient het de aanbeveling om ook in SMART2SUMO de P-voorraad in de bodem te betrekken bij het vaststellen van P-limitatie.

N en P afvoer naar het grond- en oppervlaktewater

De N-afvoer naar het grond- en oppervlaktewater van SMART2SUMO is (te) laag omdat SMART2SUMO geen rekening houdt met de mineralisatie van bodemorganische stof (nalevering van N). Het verdient de aanbeveling om hier nader naar te kijken. Het gaat hierbij met name om de mineralisatie van veen al of niet in combinatie met een veranderende grondwaterstand.

De hoge P-afvoer naar het grond- en oppervlaktewater van SMART2SUMO is grotendeels te verklaren door het achterblijven van de P-opname. Desorptie speelt nauwelijks een rol, in STONE-ANIMO bedraagt deze gemiddeld 0.1 kg P (4 kg over 30 jaar), terwijl deze in SMART2SUMO verwaarloosbaar is. De gemiddelde productie (gewasafvoer) van SMART2SUMO bedraagt 3 kg P terwijl STONE-ANIMO een productie (gewasafvoer) van 9 kg berekent. Verder speelt uiteraard het niet meenemen van verschillende lagen in SMART2SUMO een rol. Hierdoor berekent SMART2SUMO, in tegenstelling tot STONE-ANIMO, één gemiddelde concentratie voor de gehele wortelzone. Op basis van deze concentratie wordt vervolgens de afvoer naar grond- en oppervlaktewater berekend.

5 Conclusies en aanbevelingen voor aanpassingen

5.1 Conclusies

Naar aanleiding van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Beide modellen zijn in potentie geschikt om landgebruiksverandering, maar vragen nog de nodige aandacht om daadwerkelijk effecten van landgebruiksveranderingen door te rekenen. Zowel wat betreft modelparameterisatie als wat betreft procesformuleringen. De uitkomsten van STONE en SMART2SUMO wijken soms sterk van elkaar af. Waardoor de keuze van het model in sterke mate bepalend wordt voor de uitkomst van de vraag wat er gaat gebeuren als landbouwgrond wordt omgezet in natuur.
- SMART2SUMO berekent voor onbemeste graslanden op veengronden vergelijkbare N-beschikbaarheden als STONE-ANIMO, maar lagere P-beschikbaarheden. De gemiddelde N-beschikbaarheid van SMART2SUMO (130 kg N) is ongeveer gelijk aan die van STONE-ANIMO (134 kg N), terwijl de P-beschikbaarheid van SMART2SUMO (13 kg P) bijna 25% lager is dan die van STONE-ANIMO (17 kg P).
- De gemiddelde N-beschikbaarheid zoals berekend door beide modellen (ca. 130 kg N; waarvan 25 kg depositie) ligt lager dan literatuur gegevens (gemiddeld rond de 200 kg N; waarvan ca. 60 kg depositie). Daarentegen komt de gemiddelde P beschikbaarheid zoals berekend door beide modellen goed overeen met literatuurwaarden.
- SMART2SUMO berekent een beduidend lagere N-mineralisatie snelheden dan de snelheid berekend door STONE-ANIMO en zoals afgeleid kan worden uit de literatuur. Daarentegen brengt SMART2SUMO N-fixatie in rekening, terwijl STONE-ANIMO dit niet doet.
- De door SMART2SUMO berekende N-productie ligt ca 20% lager en de P-productie ligt 67% lager dan die van STONE-ANIMO. Een belangrijke oorzaak voor dit verschil is dat P-limitatie in SMART2SUMO veel te stringent wordt opgelegd. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in het negeren van de P-voorraad in de bodem bij het vaststellen van P-limitatie.
- N-fixatie door stikstofbindende micro-organismen is in STONE-ANIMO niet als proces beschreven. Indien gewenst kan de N-fixatie worden beschreven als een extra additie-term. Dit is niet gebeurd in deze studie. De gemiddelde N-fixatie in SMART2SUMO bedraagt $50 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$, wat aan de hoge kant is.
- De N-productie zoals berekend door beide modellen zijn vergelijkbaar (geen significant verschil). SMART2SUMO berekent daarentegen een veel lagere P-productie (3 versus 9 kg P) dan STONE-ANIMO.
- De N- en P-uitspoelingsfluxen van beide modellen zijn zeer verschillend. SMART2SUMO berekent een vrij lage N-uitspoeling (6 versus 10 kg N) maar een relatief hoge P uitspoeling (5 versus 1 kg P). De N:P-verhouding van 10:1 in de afvoer naar het grond- en oppervlaktewater zoals berekend door STONE-ANIMO lijkt niet onrealistisch. De oorzaak van de gesignaleerde verschillen moet zeer waarschijnlijk gezocht worden in de verschillen waarin beide modellen de gewasopname van N en P berekenen en de wijze waarop limitatie van N en P wordt meegenomen.

5.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- De uitgevoerde berekeningen geven waardevolle inzichten, maar zijn te beperkt voor het treffen van overall conclusies. Het is daarom aan te bevelen om een paar locaties op verschillende bodemtypen gedetailleerd te bestuderen met behulp van beide modellen.

Essentieel hierbij is dat er goede meetgegevens zijn, op basis waarvan sluitende balansen te maken zijn.

- De wijze waarop de N-beschikbaarheid in beide modellen wordt berekend dient te worden verbeterd en op elkaar te worden afgestemd. Zo houdt bijvoorbeeld SMART2SUMO wel rekening met N-fixatie, maar niet met de extra mineralisatie van veen, terwijl voor STONE-ANIMO het omgekeerde geldt.
- Analooq aan de N-beschikbaarheid en N-opname dient ook de P-beschikbaarheid en N-beschikbaarheid kritisch te worden bekeken en zonodig te worden verbeterd. Momenteel wordt P-beschikbaarheid berekend als de som van P-mineralisatie, P-desorptie en P-verwerking. Onderzocht moet worden of dit een goede maat is voor de P-beschikbaarheid in de bodem.
- P-modellering en parameterisatie in veenbodems met een grotere variatie aan grondwaterstanden dan waar nu vanuit is gegaan dient in beide modellen nader bekeken te worden. Daarnaast is ook de P- modellering en parameterisatie van minerale bodems voor verbetering vatbaar. Zo is bijvoorbeeld de parameterisatie voor alle bodems vooralsnog gebaseerd op alleen zandgrondgegevens.
- Het verdient aanbeveling in een meer gedetailleerde analyse ook de berekende minerale P-voorraad in de bodem te beschouwen en deze te vergelijken met metingen.
- De wijze waarop in SMART2SUMO de P-limitatie wordt bepaald dient te worden herzien. Zo berekent SMART2SUMO een P-beschikbaarheid die duidelijk te laag is, terwijl er wel sprake is van hoge P-concentraties in het bodemvocht. Aan te bevelen is om bij het vaststellen van P-limitatie ook de P-voorraad in de bodem te betrekken.

Literatuur

- Alkemade, J.R.M., J.J.M. van Grinsven, J. Wiertz & J. Kros, 1998. *Towards integrated national modelling with particular reference to the environmental effects of nutrients*. Environ. Pollut. 102 (suppl.1), 101-105.
- Groenendijk, P. & J.G. Kroes, 1999. *Modelling the nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface water with ANIMO 3.5*. Winand Staring Centre, Wageningen. Report 144.
- Helming, J.F.M., M.W. Hoogeveen, L. Mokveld & H.H. Luesink, 2005. *Combinatiemogelijkheden van de modellen MAM en DRAM met een toepassing op de Nitraatrichtlijn*. LEI, Den Haag. LEI-rapport 8.05.02.
- Janssen, B.H., 1983. *Organische stof en bodemvruchtbaarheid*. Landbouwniversiteit Wageningen, Intern Rapport.
- Janssen, B.H., 1984. *A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter*. Plant soil 76, 297-304.
- Koopmans, G.F., W.J. Chardon, P.A.I. Ehler, J. Dolfing, R.A.A. Suurs, O. Oenema & W.H. van Riemsdijk, 2004. *Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil*. J. Environ. Qual. 33 (3), 965-975.
- Kroes, J.G., J.G. Wesseling & J.C. van Dam, 2000. *Integrated modelling of the soil-water-atmosphere-plant system using the model SWAP 2.0 an overview of theory and an application*. Hydrol. Proc. 14 (11/12), 1993-2002.
- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom & A. Beusen, 2001. *Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters*. RIZA, Lelystad. RIZA rapport 2001.017.
- Kros, J., 2002. *Evaluation of biogeochemical models at local and regional scale*. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Olf, H., F. Berendse & W. de Visser, 1994. *Changes in nitrogen mineralization, tissue nutrient concentrations and biomass compartmentation after cessation of fertilizer application to mown grassland*. J. Ecol. 82 (3), 611-620.
- Reijnen, R. & R. van Oostenbrugge, 2000. *Wetenschappelijke review van SMART-MOVE; onderdeel van het kerninstrumentarium van het Natuurplanbureau*. In: Natuurplanbureau, Wageningen, Bilthoven.
- Rijtema, P.E. & J.G. Kroes, 1991. *Nitrogen modeling on a regional scale*. In: Bogardi, I. & R.D. Kuzelka (Eds). Nitrate contamination: Exposure, consequence, and control. Vol. 30 Springer-Verlag, Berlin, pp. 81-95.
- RIVM, 2004. *Mineralen beter geregeld. Evaluatie van de werking van de Meststoffenwet 1998-2003*. RIVM, Bilthoven, the Netherlands. RIVM rapport 500031001.
- Rötter, R., J.J.M. van Grinsven, P. Boers, A.H.W. Beusen & O. Oenema, 2001. *De status van het rekeninstrumentarium STONE versie 2.0*. Alterra rapport 378. Reeks Milieuplanbureau no 17.
- Schoumans, O.F. & P. Groenendijk, 2000. *Modeling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands*. J. Environ. Qual. 29 (1), 111-116.
- Smart, S., C. Evans, E. Rowe, W. Wamelink, D. Roy, C. Preston, M. Hill, P. Rothery, J. Bullock, I. Moy, A. Scott, B. Emmett & S. Wright, 2005. *Atmospheric nitrogen pollution impacts on*

- biodiversity: Phase 1 - Model development and testing*. Final report to Department of the Environment, Food and Rural Affairs, Joint Nature Conservation Committee and English Nature.
- Ten Berge, H.F.M., J.C.M. Withagen, F.J. de Ruijter, M.J.W. Jansen & H.G. van der Meer, 2000. *Nitrogen responses in grass and selected field crops. QUADMED parameterisation and extensions for STONE application*. Plant Research International, Wageningen, the Netherlands. Report 24.
- Van der Hoek, D.C.J., M. Bakkenes & J.R.M. Alkemade, 2000. *Natuurwaardering in de Natuurplanner, Toepassing voor de VIJNO*. RIVM, Bilthoven. RIVM rapport 408657 004.
- Van der Hoek, D.C.J., W.H. Hoffmans, A. van Hinsberg & M. van Esbroek, 2002. *Ecologische effectberekening voor de 2e Nationale Natuurverkenning: terrestrische systemen*. RIVM, Bilthoven. RIVM-rapport nr. 408664002.
- Van Grinsven, H., S. Plette, N. van Duynhoven, S. de Rijk, W. de Vries, O. Schoumans & H. Westhoek, 2003. *Verkenning voor de Stuurgroep STONE van de gewenste ontwikkeling van het model STONE (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel) en de daarvoor benodigde wijze van samenwerking. Bijlage bij brief emx\4227*. RIZA, Lelystad.
- Van Hinsberg, A. & J. Kros, 1999. *Een normstellingsmethode voor de stikstofdepositie op natuurlijke vegetaties in Nederland. Een uitwerking van de Natuurplanner voor natuurdoeltypen*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, The Netherlands. RIVM rapport 722108 024.
- Van Hinsberg, A., J. Wiertz & R. van Ek, 2000. *Concept projectplan nationaal model voor de vegetatie*. RIVM, Bilthoven. RIVM rapport 408662002.
- Van Jaarsveld, H.J.A., 1995. *Modelling the long-term atmospheric behaviour of pollutants on various spatial scales*. Ph.D. Thesis, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Van Kekem, A.J., 2004. *Veengronden en stikstofleverend vermogen*. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 965.
- Velthof, G.L., J.J. Neeteson, H.G. van der Meer & O. Oenema, 2000. *Schatting van de netto stikstofmineralisatie en biologische stikstofbinding in landbouwgronden*. Alterra, Wageningen. rapport 117.
- Wamelink, G.W.W., J.P. Mol-Dijkstra, H.F. van Dobben, J. Kros & F. Berendse, 2000. *Eerste fase van de ontwikkeling van het Successie Model SUMO 1; Verbetering van de vegetatiemodellering in de Natuurplanner*. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen. Alterra rapport 45.
- Wamelink, G.W.W., H. van Oene, J.P. Mol-Dijkstra, J. Kros, H.F. van Dobben & F. Berendse, 2001. *Validatie van de modellen SMART2, SUMO1, NUCOM en MOVE op site-, regionaal en national niveau*. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen. Alterra rapport 65.
- Wamelink, G.W.W., J.P. Mol-Dijkstra, H.F. van Dobben & J. Kros, 2003. *Modellering van landgebruiksverandering en fosfaat in SMART2 en SUMO2 ten bate van de verbetering van de modellering in de Natuurplanner*. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 710.
- Wamelink, G.W.W. & H.F. van Dobben, 2004. *Effectiviteit van beheermaatregelen in het veenweidegebied. Een model simulatie met SMART2-SUMO2-MOVE2*. Natuurplanbureau - vestiging Wageningen. Planbureau rapporten 1.
- Wolf, J., R. Rötter & O. Oenema, 2004. *Nutrient emission models in environmental policy evaluation at different scales-experience from the Netherlands*. Agric. ecosyst. environ. 105 (1-2), 291-306.

WOt-onderzoek

Verschenen documenten in de reeks Rapporten van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu – vanaf september 2005

WOt-rapporten zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (voorheen Natuurplanbureau), Lumengebouw, te Wageningen.

T 0317 – 47 78 44
F 0317 – 42 49 88
E info.wnm@wur.nl

WOt-rapporten zijn ook te downloaden via de WOt-website www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

2005

- 1 *Wamelink, G.W.W., J.G.M. van der Gref-van Rossum & R. Jochem*
Gevoeligheid van LARCH op vegetatieverandering gesimuleerd door SUMO
- 2 *Broek, J.A. van den*
Sturing van stikstof- en fosforverliezen in de Nederlandse landbouw: een nieuw mestbeleid voor 2030
- 3 *Schrijver, R.A.M., R.A. Groeneveld, T.J. de Koeijer & P.B.M. Berentsen*
Potenties bij melkveebedrijven voor deelname aan de Subsidieregeling Agrarisch Natuurbeheer
- 4 *Henkens, R.J.H.G., S. de Vries, R. Jochem, R. Pouwels & M.J.S.M. Reijnen,*
Effect van recreatie op broedvogels op landelijk niveau; Ontwikkeling van het recreatiemodel FORVISITS 2.0 en koppeling met LARCH 4.1
- 5 *Ehlert, P.A.I.*
Toepassing van de basisvrachtbenadering op fosfaat van compost; Advies
- 6 *Veeneklaas, F.R., J.L.M. Donders & I.E. Salverda*
Verrommeling in Nederland
- 7 *Kistenkas, F.H. & W. Kuindersma*
Soorten en gebieden; Het groene milieurecht in 2005
- 8 *Wamelink, G.W.W. & J.J. de Jong*
Kansen voor natuur in het veenweidegebied; Een modeltoepassing van SMART2-SUMO2, MOVE3 en BIODIV
- 9 *Runhaar, J., J. Clement, P.C. Jansen, S.M. Hennekens, E.J. Weeda, W. Wamelink, E.P.A.G. Schouwenberg*
Hotspots floristische biodiversiteit
- 10 *Cate, B. ten, H. Houweling, J. Tersteeg & I. Verstegen (Samenstelling)*
Krijgt het landschap de ruimte? – Over ontwikkelen en identiteit
- 11 *Selnes, T.A., F.G. Boonstra & M.J. Bogaardt*
Congruentie van natuurbeleid tussen bestuurslagen
- 12 *Leneman, H., J. Vader, E. J. Bos en M.A.H.J. van Bavel*
Groene initiatieven in de aanbidding. Kansen en knelpunten van publieke en private financiering
- 13 *Kros, J, P. Groenendijk, J.P. Mol-Dijkstra, H.P. Oosterom, G.W.W. Wamelink*
Vergelijking van SMART2SUMO en STONE in relatie tot de modellering van de effecten van landgebruikverandering op de nutriëntenbeschikbaarheid

Wot

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

